

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Měření deformace v dělicí rovině vstřikovací formy při výrobě na bezsloupovém a sloupovém stroji

Measurement of injection mould deformation in the parting surface during the production with tie-bar and tie-bar-less injection machines

Jiří Sejna

KSP – TP

Vedoucí diplomové práce: Ing. Aleš AUSPERGER, Ph.D. – TU v Liberci
Konzultant diplomové práce: Ing. Petr Valenta – ABB s.r.o., Jablonec nad Nisou

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	68
Počet tabulek	10
Počet příloh	15
Počet obrázků	26

Datum: 25.5.2012

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství

Student: Jiří Sejna

Téma práce: **Měření deformace v dělicí rovině vstřikovací formy
při výrobě na bezsloupovém a sloupovém stroji**

**Measurement of injection mould deformation in the parting
surface during the production with tie-bar and tie-bar-less
injection machines**

Číslo DP: KSP-TP

Vedoucí DP: Ing. Aleš AUSPERGER, Ph.D. – TU v Liberci

Konzultant: Ing. Petr Valenta – ABB s.r.o., Jablonec nad Nisou

Abstrakt: Tato diplomová práce se zabývá měřením deformace, která vzniká na deskách vstřikovací formy během vstřikovacího cyklu na bezsloupovém a sloupovém vstřikovacím stroji. Cílem diplomové práce je zjistit velikost nepřesnosti dosednutí desek při různých velikostech uzavírací síly na vstřikovacím stroji při standardních vstřikovacích podmínkách pro materiál polyamid 6 a polykarbonát a konkrétní vstřikovaný díl. Práce může být jako podklad pro nastavování parametrů vstřikovacího cyklu, výběr vstřikovacího stroje a v neposlední řadě dává představu o kvalitě uzavíracího mechanismu daných strojů.

Abstrakt: The following thesis focuses on the measurement of deformations appearing on injection mold plates during the injection cycle on both, tie-bar and tie-bar-less injection machines. The thesis further aims on defining the precious amounts of inaccuracies while fitting plates for polyamide 6, polycarbonate and the relevant injection mold part when different levels of clamping force are impacting on the injection machine under standard injection conditions. Concluding, the scientific insights of the handed in thesis can be used when setting injection cycle parameters, deciding for an injection molding machine and, finally, gives an idea on the quality of clamping mechanism in injection molding machines.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 25.5.2012

.....
Jiří Sejna
Pasecké nám. 3358/2
466 02, Jablonec nad Nisou

Děkuji Ing. Aleši Auspergerovi Ph.D. z katedry strojírenské technologie – oddělení tváření kovů a plastů a Ing. Petru Valentovi z ABB – Elektropraga s.r.o. za cenné rady a informace při vypracovávání diplomové práce. Ing. Martinovi Salákovi z ABB – Elektropraga s.r.o. děkuji za technickou podporu při instalaci měřících zařízení.



OBSAH:

Seznam symbolů a zkratk.....	8
1 ÚVOD.....	10
2 TEORETICKÁ ČÁST.....	11
2.1 Zpracování plastů.....	11
2.1.1 Plasty.....	11
2.1.2 Rozdělení plastů.....	12
2.1.3 Technologie zpracování plastů.....	13
2.2 Vstřikování plastů.....	14
2.3 Vstřikovací cyklus.....	15
2.3.1 Vstřikovací cyklus definice.....	15
2.4. Vstřikovací stroje.....	17
2.4.1 Vstřikovací jednotka.....	18
2.4.2 Uzavírací jednotka.....	23
2.4.3 Řídící a uzavírací systém.....	25
2.4.4 Hydraulické vstřikovací stroje.....	25
2.4.5 Elektrické vstřikovací stroje.....	26
2.5 Vstřikovací forma.....	27
2.5.1 Vtokový systém.....	28
2.5.2 Temperační systém.....	28
2.6 Statistické vyhodnocení naměřených hodnot.....	30
2.6.1 Chyby měření.....	30
2.6.2 Vybrané statistické charakteristiky.....	31
3 PRAKTICKÁ ČÁST.....	34
3.1 Popis experimentu.....	34
3.2 Měřicí zařízení.....	35
3.2.1 Měřicí optické dotykové sondy	35
3.2.2 PC interface PC-01-XX	37
3.2.3 Označení měřených bodů na vstřikovací formě.....	39
3.2.4 Uchycení měřících sond	40
3.3 Vstřikovací stroje použité v experimentu	41
3.3.1 ENGEL VICTORY 330/120 FOCUS	42
3.3.2 ARBURG 420 C 1300-350.....	46
3.4 Instalace vstřikovací formy do vstřikovacího stroje.....	48
3.5 Plastový materiál použitý v experimentu.....	49
3.5.1 Polyamid 6.....	49
3.5.2 Polykarbonát.....	51
3.6 Vstřikovaný díl.....	52
3.7 Průběh vstřikování během experimentu.....	52



4	VYHODNOCENÍ.....	55
4.1	Naměřené hodnoty v experimentu.....	55
4.2	Statistické vyhodnocení naměřených hodnot.....	61
4.3	Zhodnocení naměřených hodnot.....	63
5	ZÁVĚR.....	65
6	Seznam použité literatury.....	66
7	Seznam příloh.....	68



Seznam symbolů a zkratk:

D	průměr šneku [mm]
ε_r	tažnost [%]
F_p	přisouvací síla [N]
F_u	uzavírací síla [N]
L	délka šneku [mm]
n	počet měření
PC	osobní počítač
p_i	vnitřní tlak v dutině vstřikovací formy [MPa]
$p_{vstř.}$	Max. vstřikovací tlak [MPa]
p_z	zbytkový tlak [MPa]
Q_K	teplo odvedené kondukcí (prouděním) [J]
Q_o	teplo odvedené do okolí [J]
Q_P	teplo přivedené taveninou plastu [J]
Q_{pl}	plastifikační kapacita [kg/h]
Q_S	teplo odvedené sáláním [J]
Q_v	teplo odvedené vedením [J]
Q_{vs}	vstřikovací kapacita [cm ³]
Q_{TM}	teplo přivedené nebo odvedené temperačním médiem [J]
Q_v	teplo odvedené vedením [J]
σ_r	pevnost [MPa]
R	variační rozpětí
s	výběrová směrodatná odchylka
s_k	pohyb šneku [mm]
s_N	pohyb nástroje [mm]
s_r	relativní směrodatná odchylka
t	čas [s]
t_d	doba dotlaku [s]
t_{ch}	doba chladnutí [s]
t_k	doba odsunutí tavící komory od vstřikovací formy [s]



t_{kp}	doba prodlevy komory v zadní poloze [s]
t_m	manipulační čas [s]
t_{p1}	doba plastifikace nové dávky plastu [s]
t_{s1}	strojní čas [s]
t_{s2}	strojní čas [s]
t_{s3}	doba otevření formy [s]
t_v	doba plnění [s]
t_{p1}	doba plastifikace nové dávky plastu [s]
T_f	teplota viskózního toku [K]
T_g	teplota zesklnění [K]
T_m	teplota tání [K]
T_g	teplota zesklnění [K]
USB	univerzální sériová sběrnice
v	objemová vstřikovací rychlost [cm^3/s]
x_i	naměřené hodnoty veličiny X
x_{\max}	maximální naměřená hodnota
x_{\min}	minimální naměřená hodnota
\bar{x}	aritmetický průměr



1. ÚVOD

V současné době zaujímají plasty velmi významné postavení v objemu spotřebovávaných materiálů v celosvětové produkci a vzhledem k jejich progresivnímu vývoji bude jejich význam v budoucnosti stále růst. Plasty se prakticky využívají ve všech odvětvích lidské činnosti a do značné míry nahrazují klasické materiály, jako jsou např. kovy, sklo, keramické materiály atd. Některé jejich vlastnosti jsou ovšem nenahraditelné. Historie plastů sahá do druhé poloviny 19. století, kdy byly objeveny. Po 2. světové válce nastal jejich obrovský rozvoj a dnes jsou vyvíjeny plasty i pro špičkové aplikace. Plasty se používají v mnoha odvětvích, zejména pak v automobilovém, elektrotechnickém a obalovém průmyslu. S vývojem plastických hmot je úzce spojeno i jejich zpracování. Plasty se mohou tvářet vstřikováním, vytlačováním, vyfukováním, odléváním, tvarováním apod. Vstřikování plastů je jedním z nejrozšířenějších způsobů tváření a umožňuje výrobu dílu s velmi vysokou kvalitou povrchu a dobrou rozměrovou přesností.

Firma ABB – Elektropraga s.r.o. sídlící v Jablonci nad Nisou produkuje obsáhlý sortiment elektroinstalačního zařízení a v tomto odvětví má v České republice významné postavení. Unikátem je pak tvorba jednotlivých výrobků od marketingových průzkumů, vývoje, výroby nástrojů a dílů, až po distribuci přes velkoobchodní síť do jednotlivých domácností a firem. Prakticky celý výrobní proces je prováděn v jednom areálu. V lisovně plastů má firma ABB přes 20 vstřikovacích strojů. Vstřikování určitých typů výrobků přineslo problémy s jejich rozměrovou přesností při vstřikovacích parametrech, které vyžadují používané vstřikované plastové materiály, a řada technologů a konstruktérů vznesla otázku, zda problémy nemohou být ve správném paralelním dosedání hlavních desek vstřikovacího stroje po uzavření nástroje, resp. zda nedochází k jejich rozevření během jednotlivých fází vstřikovacího cyklu. Proto se firma ABB rozhodla zadat tuto diplomovou práci, aby bylo zjištěno, zda při určitých velikostech uzavíracích sil nedochází k rozevření hlavních desek stroje, jak u vstřikovacího stroje bezsloupového, tak u sloupové hydraulické technologie.

Diplomová práce vznikla v rámci řešení projektu studentské grantové soutěže 2822.



2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Zpracování plastů

2.1.1 Plasty

Plasty jsou z chemického hlediska organické sloučeniny, jejichž podstatou jsou makromolekulární látky, které lze tvářet a tvarovat do požadovaného tvaru zejména teplotou a tlakem. Makromolekulární látky se vytvářejí polyreakcemi, což jsou jednoduché chemické reakce, které se mnohokrát opakují. Polyreakce se mohou zúčastnit pouze takové chemické sloučeniny, které mají v molekulách alespoň dvě funkční skupiny, které mohou reagovat s dalšími molekulami tzn., že sloučeniny mají vhodnou chemickou strukturu. Takové nízkomolekulární sloučeniny se nazývají monomery. Spojováním monomerů vznikají polymery a ty mají zcela nové vlastnosti. Existují tři základní druhy polyreakcí: polymerace, polykondenzace a polyadice. [1], [2]

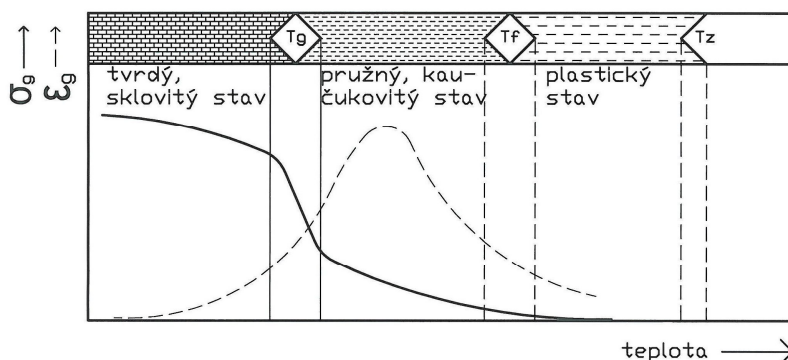
Mezi hlavní přednosti plastů patří malá měrná hmotnost, odolnost vůči chemikáliím, dobré tepelně izolační a elektroizolační vlastnosti, nízký koeficient tření, schopnost tlumit rázy a vibrace. Přidáním vhodných přísad lze docílit mechanických vlastností, hlavně pevnosti, na podobnou úroveň jako u kovů. [2]

Hlavní nevýhodou plastů, která zároveň limituje jejich použitelnost patří relativně nízká teplotní odolnost. Dále vykazuje chování plastů časovou závislost vlastností při dlouhodobém mechanickém namáhání tzn., že hodnoty pevnosti v tahu, modulu pružnosti a rozměrů zatížené součástky (creep) se snižují s rostoucí dobou zatížení. [2]

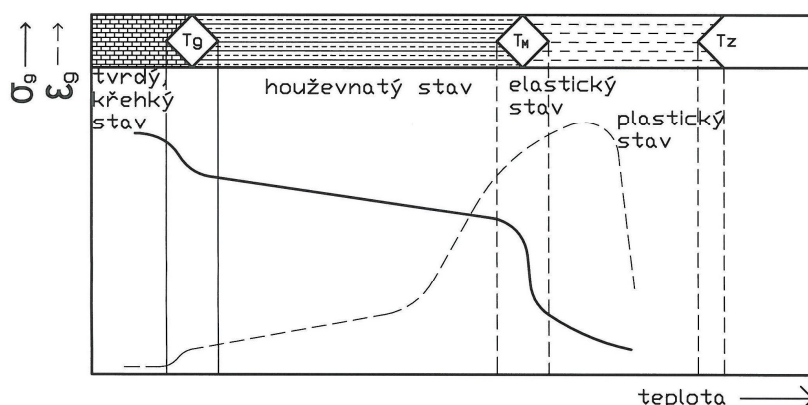
2.1.2 Rozdělení plastů

Plasty je možno klasifikovat podle různých kritérií, např. podle aplikace na plasty pro široké použití nebo na plasty pro inženýrské aplikace; podle nadmolekulární struktury na plasty amorfnní a semikrystalické; podle druhu přísad na plněné a neplněné plasty; podle polaritý na polární a nepolární plasty; podle původu na plasty přírodní a umělé atd. Rozdělení plastů na základě teplotního chování resp. podle působení teploty je známo i pro širokou veřejnost a podle tohoto kritéria se plasty dělí na termoplasty, reaktoplasty a kaučuky, pryže a elastomery. [1], [2]

- a) Termoplasty – jsou polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu (stav vysoce viskózních newtonovských kapalin). V tomto stavu jsou snadno tvářitelné a je možno je zpracovávat různými technologiemi. Do pevného stavu přejdou ochlazením pod teplotu viskózního toku T_f (amorfnní plasty) resp. teplotu tání T_m (semikrystalické plasty). Na obr. 2.1 a obr. 2.2 je znázorněn průběh deformačních vlastností amorfnních a semikrystalických plastů. Při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, a proto lze proces měknutí a následného tuhnutí teoreticky opakovat bez omezení. Do skupiny termoplastů patří polypropylén, polystyrén, polyvinylchlorid, polyamid, polykarbonát atd.



Obr. 2.1: Průběh deformačních vlastností u amorfnních plastů /1/



Obr. 2.2: Průběh deformačních vlastností u semikrystalických plastů /1/

- b) Reaktoplasty – dříve nazývané termosety jsou polymerní materiály, které v první fázi zahřívání měknou a lze je omezenou dobu tvářet, během dalšího zahřívání však dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury tzv. vytvrzování. Produkt je možno považovat za jednu velkou makromolekulu. Vytvrzování je nevratný proces, vytvrzené plasty nelze rozpustit ani roztavit, následným zahříváním dochází k degradaci hmoty. Mezi reaktoplasty patří epoxidové pryskyřice, polysterové hmoty, formaldehydové hmoty atd.
- c) Kaučuky, pryže a elastomery – jsou polymerní materiály, které lze v první fázi omezenou dobu zahřívát a tvářet. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci, prostorovému zesíťování – vulkanizaci. [1], [2]

2.1.3 Technologie zpracování plastů

Jednou z hlavních výhod plastů je jejich výborná zpracovatelnost, především dobrá tvárnost za zvýšených teplot. Podle vztahu mezi hmotou vstupující do procesu a produktem, který je jeho výsledkem, lze technologie zpracování plastů rozdělit:

- a) Tvářecí technologie – jsou takové operace, při kterých se tvar výchozího materiálu mění zcela zásadním způsobem a dochází k velkému přemísťování částic. Tváření



probíhá za působení tlaku a teploty. Jsou to technologie vstřikování, vytlačování, válcování, lisování, laminování, odlévání atd. Výsledkem tvářecích procesů jsou polotovary nebo konečné výrobky.

- b) Tvarovací technologie – u těchto typů operací se vychází z polotovarů a hmota mění tvar bez většího přemísťování částic. Může se při nich uplatnit vliv zvýšené teploty a tlaku. Do této skupiny patří ohýbání trubek, tvarování desek, všechny způsoby obrábění (řezání, frézování, soustružení atd.), metody spojování (lepení, svařování), spékání prášků atd.
- c) Doplnkové technologie – slouží k úpravě materiálu před zpracováním (sušení, předeřev, příprava granulátu, příprava směsi polymerů s přísadami atd.) a k úpravám konečných výrobků (potiskování, sametování, drénování atd.) [1], [2]

2.2 Vstřikování plastů

Vstřikování plastů je diskontinuální cyklický proces tváření plastů, při kterém se materiál nejprve převádí do tekutého stavu, následně se vstřikuje do tvarové dutiny formy, kde se za působení fyzikálních veličin zformuje a ochladí, následně je z nástroje vyhozen a poté je s ním manipulováno v dalších částech výrobního procesu. Vstřikování je nejrozšířenější technologií zpracování plastů a lze v ní zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů, v omezené míře reaktoplasty a elastomery. [1], [2]

Výhody vstřikování jsou v možnosti vyrábět složité díly s přesnými rozměry, velmi dobrou kvalitou povrchu a dobrými mechanickými a fyzikálními vlastnostmi, relativně krátký čas výrobního cyklu a velká škála technologií, které pokrývají celou řadu technologických a konstrukčních řešení, což vede k zefektivnění výrobního procesu. Mezi nevýhody technologie vstřikování patří vysoké pořizovací náklady na formy a vstřikovací stroje a relativně dlouhá doba výroby forem. [1], [2]

Vstřikováním se vyrábějí výrobky, které mají charakter konečného výrobku, polotovary nebo části montážní sestavy. Hmotnost výstřiku může být od několika gramů až po výrobky velkých rozměrů (do 50 kg). [1]

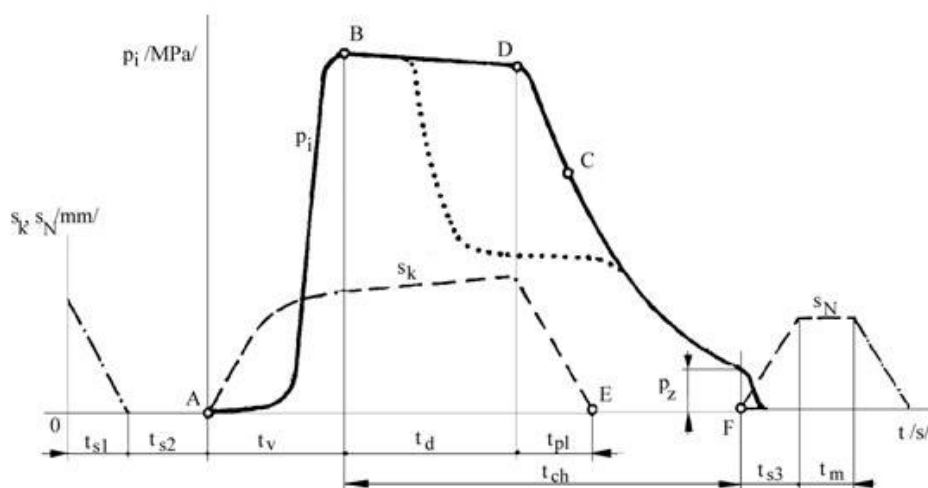
2.3 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je možné rozdělit na tři základní operace:

1. Přípravné práce – odběr, kontrola, technologické úpravy a doprava materiálu ke vstřikovacímu stroji.
2. Vstřikování na vstřikovacím stroji.
3. Vyjímání a odebrání výstřiků a následné úkony, např. opracovávání, dodatečné operace, kontrola kvality, expedice apod. [1]

2.3.1 Vstřikovací cyklus definice

Vstřikovací cyklus je přesně definovaný sled operací vedoucí k vytvoření požadovaného výstřiku. Začátek cyklu je přesně určen impulzem k uzavření formy. Dále probíhá samotné uzavření formy a přisunutí vstřikovací jednotky. Následuje plnění dutiny formy a fáze dotlaku, při které zároveň probíhá plastifikace další dávky taveniny v tavící komoře. Po fázi dotlaku resp. po ztuhnutí plastu v tvarové dutině formy následuje odsunutí vstřikovací jednotky, otevření formy a vyhození výstřiku. Vstřikovací cyklus můžeme definovat průběhem tlaku v dutině formy obr. 2.3, kde p_i je označen vnitřní tlak a nazývá se tlakový cyklus.



Obr. 2.3: Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině formy během procesu vstřikování /2/
 s_k – pohyb šneku, s_N – pohyb nástroje



Na obr. 2.3 je znázorněn průběh vnitřního tlaku p_i v čase t . V čase $t=0$ předpokládáme prázdnou dutinu formy a že je forma uzavřena. V tomto čase dostává stroj impuls k zahájení vstřikovacího cyklu. V časovém úseku t_{s1} se forma přisunuje, uzavírá a uzamyká. V časovém úseku t_{s2} se tavící komora přisouvá k formě. Časové úseky t_{s1} a t_{s2} jsou tzv. strojními časy. V čase A se začíná pohybovat šnek v tavící komoře a začíná vstřikování plastifikované hmoty do tvarové dutiny formy. V této fázi vykonává šnek pouze axiální pohyb, kdy působí jako píst. Doba, ve které probíhá plnění dutiny formy, se nazývá doba plnění a je označena t_v . Plnění je dokončeno v čase B . V okamžiku vstupu roztavené hmoty do dutiny dochází k odvodu tepla do formy a tavenina chladne. Chladnutí trvá až do otevření formy a vyhození výstřiku, tento úsek se nazývá doba chladnutí t_{ch} . Doba chladnutí se dělí na dobu chladnutí při plném vstřikovacím tlaku a při tlaku klesajícím. První část se nazývá doba dotlaku t_d . Během dotlaku je chladnoucí a smršťující se materiál v tvarové dutině formy dotlačován malým objemem taveniny a tím jsou kompenzovány negativní jevy při změně objemu taveniny, zejména staženiny. Dotlak je možné nastavit stejně velký jako max. vstřikovací tlak p_i nebo se může po několika sekundách snižovat. Doba dotlaku končí v bodě D a v tomto okamžiku začíná doba plastifikace nové dávky plastu t_{p1} . Šnek se začíná otáčet, nabírat hmotu ve formě granulátu, plastifikuje ji a vtlačuje do prostoru před šnekem a současně ustupuje dozadu. Důležitý bod pro vlastnosti výstřiku je bod C , který reprezentuje okamžik zatuhnutí hmoty ve vtokovém kanálu. Vtokový kanál spojuje tvarovou dutinu formy s tavící komorou a pokud je plast ve vtokovém kanálu ve formě taveniny, může šnek ovlivňovat tlakové poměry v dutině. Po ztuhnutí taveniny se spojení mezi tavící komorou a dutinou přeruší, a tudíž můžeme ukončit použití dotlaku tzn., že doba dotlaku končí nejpozději v bodě C (body C a D jsou totožné). Během doby chlazení se odsunuje tavící komora od vstřikovací formy (t_k) s časovou prodlevou komory v zadní poloze (t_{kp}).

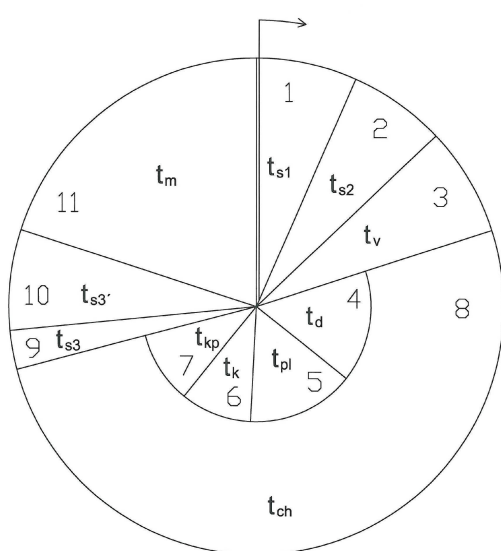
Plastifikace končí v bodě E , otáčivý pohyb šneku se zastavuje a následuje odsunutí tavící komory od formy, aby nedošlo k ochlazení trysky tavící komory od stěny formy. Chlazení nepřetržitě pokračuje za stálého poklesu tlaku až na hodnotu zbytkového tlaku p_z , který je ve formě těsně před jejím otevřením. Pokud je hodnota zbytkového tlaku příliš nízká, vznikají na výstřiku propadliny a další deformace. Naopak vysoká hodnota zbytkového tlaku způsobuje vysoká vnitřní pnutí ve výstřiku. Zbytkový tlak lze regulovat zkracováním doby



dotlaku nebo programováním průběhu tlaku p_i během dotlaku, což je znázorněno na obr. 2.3 tečkovanou čárou.

Po zchladnutí výstřiku se otevírá forma (bod F a doba t_{s3}) a výstřik je vyhozen z formy. Před zahájením dalšího vstřikovacího cyklu může následovat čas, při kterém obsluha stroje řeší případné technologické problémy, který se označuje jako manipulační čas t_m . Pohyb formy je pak označen jako S_N a pohyb šneku S_K .

Na obr. 2.4 je znázorněn vstřikovací cyklus podle časové návaznosti jednotlivých operací. [2], [3], [4]



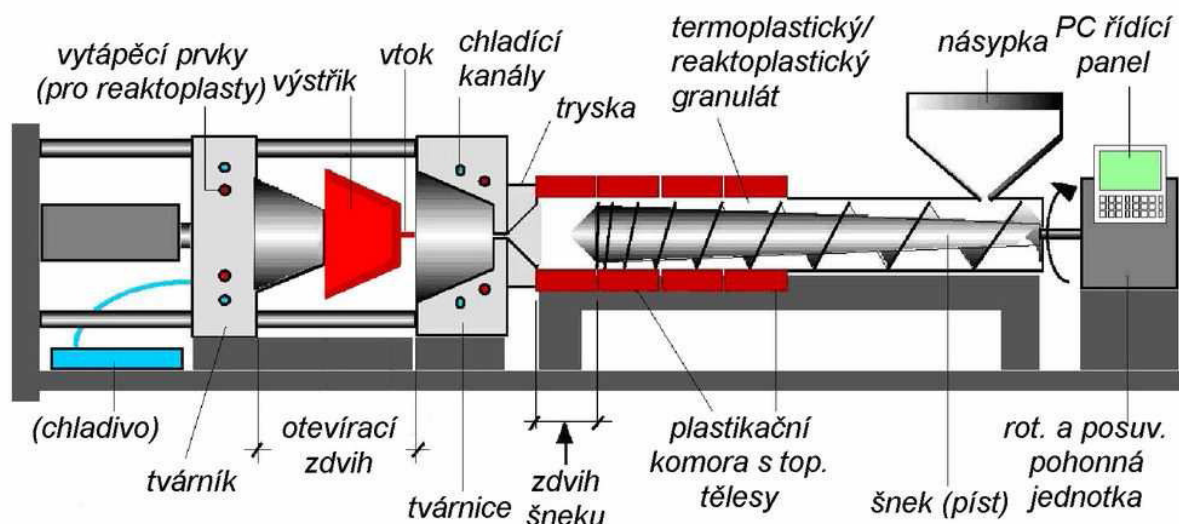
t_{s1}	strojní čas [s]
t_{s2}	strojní čas [s]
t_v	doba plnění [s]
t_d	doba dotlaku [s]
t_{pl}	doba plastifikace nové dávky plastu [s]
t_k	doba odsunutí tavící komory od formy [s]
t_{kp}	doba prodlevy komory v zadní poloze [s]
t_{ch}	doba chladnutí [s]
t_{s3}	doba otevření formy [s]
t_m	manipulační čas [s]

Obr. 2.4: Časová návaznost jednotlivých operací vstřikovacího cyklu /2/

2.4 Vstřikovací stroje

Moderní vstřikovací stroje jsou plně automatická zařízení s vysokou produktivitou práce. Cena vstřikovacích strojů a nástrojů je však značně vysoká, a tudíž je technologie vstřikování na vstřikovacích strojích vhodná pro hromadnou a velkosériovou výrobu.

Vstřikovací stroje se skládají ze tří základních částí: vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a z řízení a regulace. Schéma šnekového vstřikovacího stroje je na obr. 2.5.



Obr. 2.5: Schéma šnekového vstřikovacího stroje /1/

Dále mohou být vstřikovací stroje dovybaveny pomocnými zařízeními např.: roboty, manipulátory, mísíci a dávkovacími zařízeními, dopravníky, sušárnami. Jednotlivá zařízení zvyšují stupeň automatizace a produktivitu výrobního zařízení. [1], [5], [6], [7]

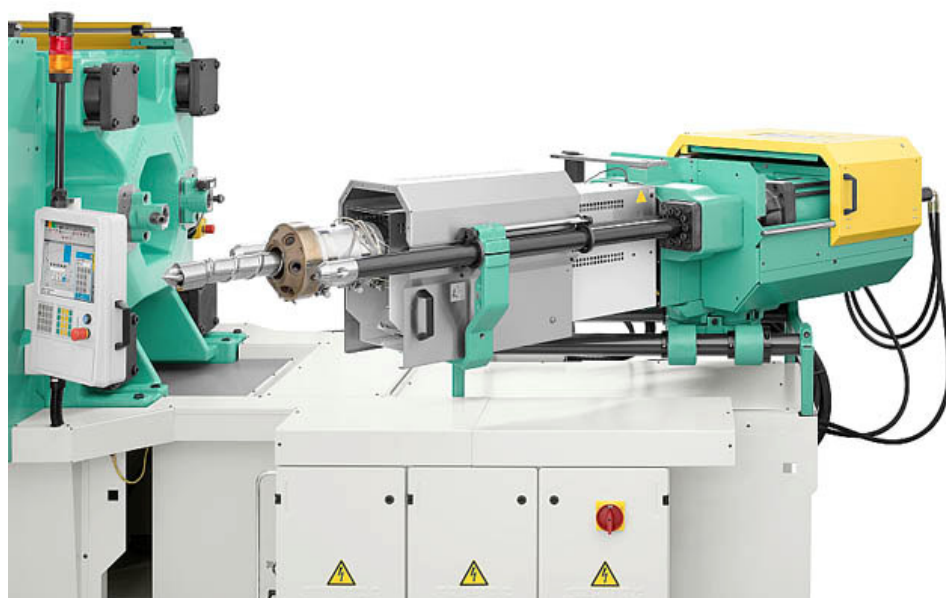
2.4.1 Vstřikovací jednotka

Ve vstřikovací jednotce se přeměňuje plast, který je nejčastěji ve formě granulí, na homogenní taveninu s požadovanou viskozitou a vstřikuje taveninu do tvarové dutiny formy. V dnešní době jsou vstřikovací jednotky výhradně šnekové, jež postupně zcela nahradily vstřikovací jednotky pístové.

Základní částí vstřikovací jednotky je tavící komora, jejíž úkolem je převést co největší množství hmoty v co nejkratším čase do plastického stavu. Pohyb plastu v tavící komoře je realizován pomocí šneku. Mezi hlavní přednosti šnekových vstřikovacích strojů patří vysoký plastifikační výkon a velký zdvihový objem, a proto lze velikost výstřiků



libovolně měnit, dále spolehlivá plastifikace a výborná homogenita taveniny, přesné dávkování, malé ztráty tlaku během pohybu hmoty a snadné čištění při změně materiálu. Na obr. 2.6 je znázorněna vstřikovací jednotka. [1], [5], [6], [7]



Obr. 2.6: Vstřikovací jednotka /8/

Vstřikovací jednotka je charakterizována základními parametry (tab. 2.1):

Tab. 2.1: Základní parametry vstřikovací jednotky /1/

Průměr	D [mm]
Délka šneku	L [mm]
Vstřikovací kapacita	Q_{vs} [cm ³]
Plastifikační kapacita	Q_{pl} [kg/h]
Max. vstřikovací tlak	$p_{vstř.}$ [MPa]
Objemová vstřikovací rychlost	v [cm ³ /s]
Typ šneku	univerzální nebo speciální šnek



Z vstřikovací kapacity, plastifikační kapacity a uzavírací síly stroje můžeme vypočítat násobnost vstřikovacích forem, resp. produktivitu výrobního procesu (2.1), (2.2), (2.3).

$$n = \frac{0,8 \cdot M_c}{M \cdot A} \quad [-] \quad (2.1)$$

Kde je:

n ... násobnost

M ... hmotnost jednoho výstřiku [g],

M_c... vstřikovací kapacita stroje [g],

A ... koeficient vtokového zbytku (1,05 – 2).

$$n = \frac{0,8 \cdot Q_p \cdot t_c}{3,6 \cdot M \cdot A} \quad [-] \quad (2.2)$$

Kde je:

n ... násobnost

M ... hmotnost jednoho výstřiku [g],

A ... koeficient vtokového zbytku (1,05 – 2),

Q_p... plastikační kapacita stroje [kg/h],

t_c ... doba vstřikovacího cyklu [s]

$$n = \frac{0,8 \cdot F}{P_v \cdot S} \quad [-] \quad (2.3)$$

Kde je:

n ... násobnost

F... uzavírací síla stroje [N],

p_v ... vstřikovací tlak [MPa],

S ... plocha průřezu výstřiků včetně vtokových kanálků do směru uzavírání formy [mm²]



Účinnost tavící komory je možné vypočítat podle rovnice (2.4).

$$\varepsilon = \frac{T_a \cdot T_i}{T_i \cdot T_o} \quad [-] \quad (2.4)$$

Kde je:

T_a ... průměrná teplota vystříknuté dávky taveniny [K]

T_i ... teplota vnitřní stěny tavící komory [K]

T_o ... teplota vstupující plastu do procesu [K]

U šnekových strojů se účinnost tavící komory blíží 1.

Vstřikovací kapacita Q_{vs} definuje maximální objem taveniny, který lze na daném vstřikovacím stroji vstřikovat z tavící komory do prostoru při jednom pracovním cyklu šneku. Plastifikační kapacita Q_{pl} stroje udává maximální množství taveniny v kilogramech, které lze na vstřikovacím stroji převést za jednu hodinu do plastického stavu s požadovanou teplotní homogenitou.

Šnek je prvek vstřikovací jednotky, který provádí operaci dávkování, dopravu materiálu, plastifikaci, hnětení a vstřikování do formy. V dnešní době jsou používány zejména šneky diferenciální (obr. 2.7), které byly vytvořeny zdokonalováním šneků obyčejných. Pro diferenciální šnek je charakteristický kompresní poměr, který definuje poměr objemu šnekového profilu na jedno stoupání závitu pod násypkou k objemu profilu v části šneku pod vstřikovací tryskou. Kompresní poměr bývá u diferenciálních šneků 1,5 až 4,5. Kompresního poměru se dosahuje změnou úhlu stoupání závitu nebo změnou průměru jádra šneku (změnou hloubky drážky) při konstantním úhlu stoupání.

Na šneku se rozlišují tři základní funkční pásma. Pásmo šneku, které je pod násypkou má drážku šneku nejhlubší a průměr jádra šneku nejmenší. Toto pásmo se nazývá vstupní. Materiál je ve vstupním pásmu hlavně stlačován, což vede k vytlačování vzduchu mezi granulemi, ohřívání materiálu a na konci vstupního pásma dochází k tání materiálu. V prostředním pásmu šneku se průměr šneku zvětšuje směrem k vstřikovací trysce a hloubka



šnekového kanálu se zmenšuje. Prostřední pásmo se nazývá kompresní (přechodové) a dochází v něm k nejintenzivnějšímu tání granulátu, tavenina ale není teplotně homogenní. Nejblíže k vstřikovací trysce je pásmo výstupní (homogenizační), ve kterém se tavenina teplotně homogenizuje. V celé délce výstupního pásma je hloubka šnekového kanálu konstantní, ale menší než ve vstupním pásmu. Délka šneku je definována poměrem jeho délky a průměru D . Délka šneku u vstřikovacích strojů pro termoplasty je $15D$ až $20D$. Podle zpracovávaných hmot se volí délka jednotlivých pásem šneku. Standardní délka vstupního pásma je přibližně 60% délky šneku a délka zbylých dvou pásem 20% délky šneku.



Obr. 2.7: Plastifikační šnek /1/

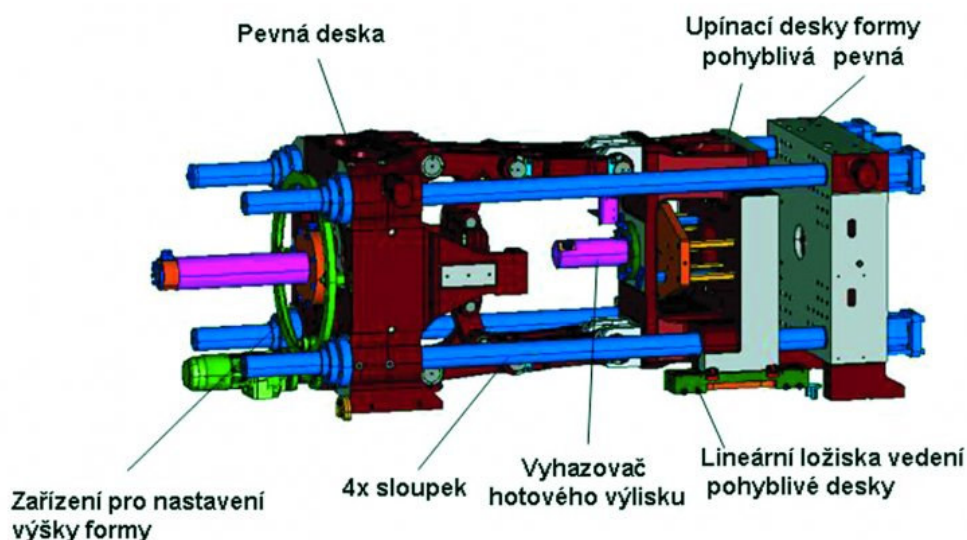
Zakončení šneku musí zabraňovat tavenině, aby mohla téct šnekovým kanálem zpět směrem k násypce. Existuje několik technologických řešení zakončení, nejspolehlivější je zakončení se zpětným ventilem. Pohyb šneku a regulace jeho jednotlivých poloh je realizována kombinací elektromotoru a hydraulického ovládání.

Vytápění tavící komory je obvykle rozděleno do tří topných pásem, které jsou samostatně vytápěny a regulovány. U násypky musí být teplota poměrně nízká, aby nedocházelo v této části tavící komory k předčasnému natavení a spečení materiálu, čímž by vzniklo ucpání tavící komory, a tím by bylo zamezeno přísunu dalšího materiálu do kompresní části šneku. Teplo potřebné k zahřátí a roztavení materiálu je dodáváno

prostřednictvím odporových topných pásů v jednotlivých topných pásmech tavící komory a přeměnou mechanické práce šneku. Ve vstupním pásmu vzniká teplo třením a ve výstupním pásmu hnětením. Tavící komoru zakončuje vstřikovací tryska. Trysky jsou konstruovány otevřené nebo uzavíratelné, které se otvírají pouze při dosedu vstřikovací jednotky na formu. Pomocí vstřikovací trysky se vstřikuje tavenina do vtokových kanálů, resp. do tvarové dutiny formy. [1], [5], [6], [7]

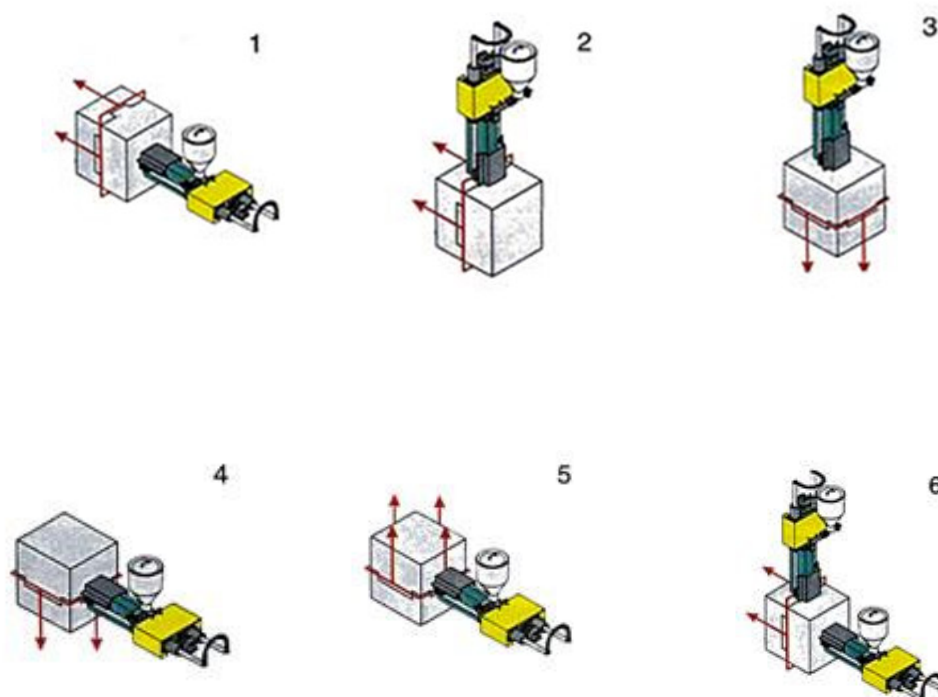
2.4.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka je část vstřikovacího stroje, jejíž úkolem je zavírat a otevírat formu a zajišťovat spolehlivé zavření formy silou, která zabraňuje jejímu otevření během pracovního cyklu. Síly, kterými působí vstřikovací jednotka je možno rozdělit na sílu přisouvací F_p a sílu uzavírací F_u . Uzavírací jednotka se skládá z opěrné desky, která je pevně spojena s ložem stroje, pohyblivé desky, na níž je upnuta pohyblivá část formy, z přidržovacího a udržovacího mechanismu (obr. 2.8). Uzavírací systémy mohou být mechanické, hydraulické nebo elektrické a tyto systémy se mohou ještě kombinovat.



Obr. 2.8: Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje /10/

Vstřikovací a uzavírací jednotky mají vůči sobě polohu, která vychází z technologických požadavků výroby, zejména z druhu vstřikovaného materiálu a speciálních technických řešení (zastříkávání do výrobků jeden nebo více dalších prvků apod.). Nejčastější uspořádání vstřikovacího stroje je horizontální poloha uzavírací i vstřikovací jednotky tzn. kolmo na dělicí rovinu formy. Další polohy vstřikovací a uzavírací jednotky jsou na obr. 2.9. [1], [5], [6]



Obr. 2.9: Vzájemná poloha mezi vstřikovací a uzavírací jednotkou /1/

- 1 – horizontální vstřikovací jednotka, vstřikování kolmo na dělicí rovinu
- 2 – vstřikování do dělicí roviny
- 3 – záliskování
- 4 – vstřikování do dělicí roviny se zakládáním zálisků
- 5 – zastříkávání komplikovaných zálisků
- 6 – dvoukomponentní vstřikování



2.4.3 Řídící a regulační systém

Řídící systém zajišťuje ovládání pohybů jednotlivých strojních mechanismů a nastavování technologických parametrů. Vstřikovací stroj je nutné nastavit a seřadit před začátkem každého nového pracovního cyklu. Nastavování může být ruční, poloautomatické nebo automatické. Jednotlivá nastavení pracovních cyklů jsou nahrávána do paměti vstřikovacího stroje a mohou být při úplné shodě všech parametrů použita opakovaně, čímž se zkracuje seřizovací čas. [1]

2.4.4 Hydraulické vstřikovací stroje

V dnešní době jsou nejrozšířenější vstřikovací stroje se sloupovým (nebo také tyčovým) uzávěrem. Jsou založeny na principu dvou ocelových desek, které jsou pevně spojeny čtyřmi vodorovnými tyčemi v jejich rozích a mezi nimi je po sloupcích nebo rámu stroje vedena pohyblivá deska. Mechanismus, který s pohyblivou deskou posunuje, je opřen o jednu z pevných desek. Na čelo druhé pevné desky a na čelo pohyblivé desky je upnuta vstřikovací forma. Některé vstřikovací stroje jsou řešeny tak, že sloupy jsou vetknuty do jedné pevné desky a pohyblivé desky, a tudíž jedna pevná deska není na stroji potřeba (dvoudeskové stroje). Pohyblivá deska je vedena na rámu vstřikovacího stroje pomocí hydraulických válců a zámkový mechanismus ji mechanicky fixuje po uzavření vstřikovací formy. Toto řešení umožňuje výrobu delšího vstřikovacího stroje a je možnost na něj upnout větší vstřikovací formu. Přenosové médium výkonu je u těchto strojů hydraulický olej. Hydraulické vstřikovací stroje mohou být i bezsloupové. Uzavírací síla je u nich přenášena tzv. C rámem, který je elastický a to je kompenzováno flexibilním uchycením pohyblivé desky. [10]

2.4.5 Elektrické vstřikovací stroje

U elektrických vstřikovacích strojů jsou všechny pohyby stroje vyvozovány elektrickými servomotory, jež jsou řízeny frekvenčními měniči. Pouze pro nastavení výšky se používá motor asynchronní. Tyto stroje mají větší počet hnacích motorů a jejich řízení, a proto je jejich cena vyšší, ale mají přesnější výrobu s lepší reprodukovatelností. Čas vstřikovacího cyklu je kratší a pohony mají větší účinnost než hydraulické. Jejich nevýhoda je, že pro vytváření dutin nebo otvorů ve stěnách výrobku hydraulickými tahači jader je nutné použít přídatný hydraulický agregát, protože použití servopohonů je pro tuto aplikaci velmi nákladné. Na obr. 2.10 je plně elektrický stroj.



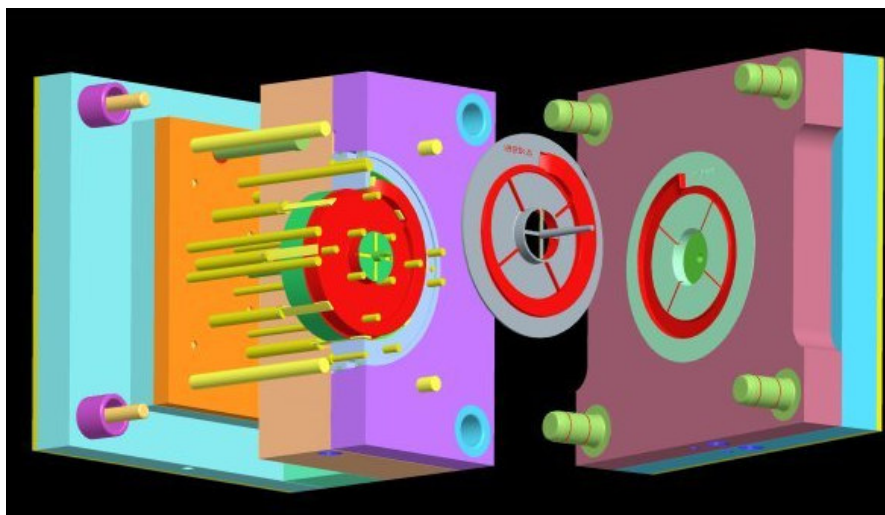
Obr. 2.10: Plně elektrický stroj v kompaktním provedení /9/

Kombinací hydraulických a přímých elektrických pohonů vznikají stroje hybridní. Hydraulické pohyby jsou v nich nejvíce uplatněny v uzavírací jednotce, čímž je umožněno bezproblémové použití vstřikovacích forem s hydraulickými tahači jader. Elektrické servopohony jsou pak použity ve vstřikovací jednotce, a tím je zaručena vysoká přesnost vstřikovacího cyklu. Proto se hybridní vstřikovací stroje stále více používají u vícekomponentního vstřikování, kde je přesnost výstřiku nejdůležitějším parametrem. [10]

2.5 Vstříkovací forma

Vstříkovací forma je nástroj, který obsahuje tvarovou dutinu, jenž je negativem budoucího výrobku. Do tvarové dutiny je pomocí vtokových kanálů přivedena tavenina a za působení technologických parametrů (tlak, dotlak, teplota, čas) mění tavenina své skupenství. Chladnoucí plast v tvarové dutině formy vykazuje určité smrštění (pro každý druh plastu je udáváno v materiálovém listu výrobce) a o hodnotu smrštění musí být všechny rozměry tvarové dutiny formy zvětšeny. Po vhodné době se forma otevírá a výstřik je vyhozen. Vstříkovací formy musí být odolné vůči vysokým tlakům a výrobky, které se v ní vstříkují, musí mít předepsanou rozměrovou přesnost. Z toho vyplývá, že konstrukce forem, materiály, které jsou použity na jejich výrobu, technologie výroby (obrábění na CNC centrech, jiskření apod.) a jakost povrchu znamenají vysoké investiční náklady.

Vstříkovací formy se rozdělují podle jejich charakteristických technických provedení. Podle násobnosti se rozdělují na jednonásobné a vícenásobné; podle konstrukčního řešení na dvoudeskové, třídeskové, čelist'ové, vytáčecí, etážové apod.; podle polohy vstříkovací a uzavírací jednotky se vstříkem kolmo na dělicí rovinu a vstříkem do dělicí roviny atd. Na obr. 2.11 je řez vstříkovací formou. [1], [6], [7], [11]



Obr. 2.11: Vstříkovací forma podle /13/



Vstřikovací forma se skládá z částí, které vymezují tvarovou dutinu formy, z temperačního a vtokového systému, z vyhazovacího systému a z vodících a upínacích prvků. Nejběžnější vyhazovací systém je pomocí vyhazovacích kolíků, mezi další mechanické způsoby vyhazování patří vyhození pomocí stíracích desek, stíracích kroužků apod. [1], [6], [7], [11]

2.5.1 Vtokový systém

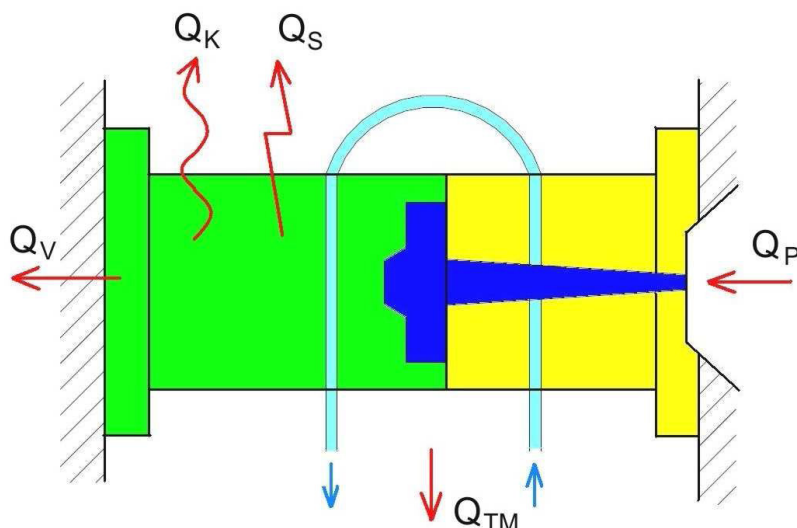
Vtokový systém nejvíce ovlivňuje jakost a kvalitu výstřiku a produktivitu výroby. Je to systém kanálů a ústí vtoku, kterým je zajištěno správné plnění tvarové dutiny formy, snadné oddělení od výstřiku při jeho vyhození a snadné vyhození vtokového zbytku. Vtoková soustava je konstruována jako studený nebo horký rozvod a jednotlivá technická řešení vychází z násobnosti formy, rozmístění tvarových dutin, použitém materiálu a kvalitativních a výrobních požadavků na výstřik.

Typ a umístění vtoku má zásadní vliv na proudění taveniny ve vstřikovací formě a na vlastnosti a kvalitu povrchu výstřiku např. na anizotropii rozměrů a vlastností, orientaci makromolekul a vytváření studených spojů. Vtokové ústí musí být navrženo tak, aby tavenina naplnila tvarovou dutinu formy co nejrychleji, co nejkratší cestou, bez velkých tlakových ztrát a u vícenásobných forem ve stejném čase při stejných technologických podmínkách. K správnému navržení vtokového systému mohou konstruktérovi sloužit speciální počítačové programy, které simulují vstřikovací časy, proudění taveniny v dutině formy, propadliny, polohy studených spojů atd. [1], [6], [7]

2.5.2. Temperační systém

Pro co největší zkrácení pracovního cyklu, jehož největší časový úsek představuje doba chlazení, je forma opatřena temperačním systémem, což je soustava kanálů a dutin, které zprostředkovávají a urychlují odvod tepla z taveniny do formy. Teplota formy je udržována prostřednictvím chladicího média, které protéká soustavou temperačních kanálů,

na požadované teplotě. Teplota formy závisí na celkové energetické bilanci formy a okolního prostředí (obr. 2.12). Obecně platí, že teplo odvedené z formy se musí rovnat teplu přivedenému taveninou.



Obr. 2.12: Tepelná bilance formy /14/

Q_{TM} – teplo přivedené nebo odvedené temperačním médiem

Q_P – teplo přivedené taveninou platu

Q_V – teplo odvedené vedením

Q_K – teplo odvedené kondukcí (prouděním)

Q_S – teplo odvedené sáláním

Teplo odvedené do okolí (2.5):

$$Q_o = Q_v + Q_k + Q_s \quad [J] \quad (2.5)$$

kde je:

Q_v ... teplo odvedené vedením [J]

Q_k ... teplo odvedené kondukcí [J]

Q_s ... teplo odvedené sáláním [J]

Základním pravidlem je, aby byl výstřik ochlazován v tvarové dutině ve všech místech stejně, což zaručuje požadované vlastnosti výstřiku. Nerovnoměrné ochlazování může způsobovat vnitřní pnutí, deformace a zvyšuje riziko vzniku trhlin. Temperační systém bývá rozdělen na dva okruhy, jeden pro pevnou a druhý pro pohyblivou část formy. Návrh



temperačního systému se provádí pomocí speciálních počítačových programů, odborné literatury a ze zkušeností technologů a konstruktérů. Moderní metody výroby temperačních systémů umožňují vytvořit kanály libovolných tvarů (např. spékáním kovových materiálů), a proto lze vytvořit vysoce efektivní temperační systém. Základní průřez temperačních kanálů je kruhový o průměru 6 až 20mm. Celková délka temperačních kanálů má být taková, aby byl rozdíl teploty temperační kapaliny na vstupu a na výstupu max. 3 až 5°C. [1], [6], [7],

2.6 Statistické vyhodnocení naměřených hodnot

2.6.1 Chyby měření

V experimentálních měřeních je počet měření, který je dále statisticky vyhodnocován, označen jako n . Zjištěné naměřené hodnoty pak podléhají chybám, jež jsou dány nepřesností měřících přístrojů, nestejnými podmínkami během měření atd. [15]

- a) **Chyby hrubé:** vznikají nevhodnou volbou metody měření nebo nedbalostí experimentátora. Jejich výskyt vždy negativně ovlivňuje správnost naměřených hodnot a konečného výsledku. Pro odlišení výsledků, které jsou zatíženy hrubou chybou, od krajních naměřených hodnot, které ještě patří do souboru, je nutné použít statistické postupy, pomocí nichž se naměřené hodnoty testují a výsledky obsahující hrubé chyby identifikují.
- b) **Chyby soustavné:** mají stále stejný charakter a způsobují zkreslení v určitém směru. Způsobují tedy stále vyšší nebo nižší naměřené hodnoty. Jejich příčinou je obvykle chybný metodický postup, špatné nastavení měřících přístrojů a stále stejná chyba experimentátora. Jejich velikost a pravidelnost se určuje výpočtem nebo experimentálně a ze zjištěných výsledků je pak možno upravit postup měření nebo výměnu měřících zařízení.



- c) **Chyby náhodné:** jsou způsobovány nahodilými vlivy, které se uplatňují nepravidelně a bez jakýchkoliv zákonitostí během měření. Nelze je vyhodnocovat ani systematicky odstraňovat. Jejich velikost se pouze statisticky odhaduje s určitou pravděpodobností. [15]

2.6.2 Vybrané statistické charakteristiky

a) Střední hodnoty:

Aritmetický průměr: opakovaným měřením (n) jedné veličiny označené X získáme hodnoty x_1, x_2, \dots, x_n (obecně x_i). Nejpravděpodobnější hodnotou veličiny X pak je aritmetický průměr, který se označuje \bar{x} a má stejné jednotky jako měřená veličina. Vztah pro výpočet aritmetického průměru je vyjádřen rovnicí (2.6).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_i x_i = \frac{\sum_i x_i}{n} \quad (2.6)$$

kde je:

n ... počet měření

x_i ... naměřené hodnoty

b) Míry variability:

Variabilita znamená způsob uspořádání jednotlivých naměřených hodnot uvnitř sledovaného souboru vzhledem k jeho střední hodnotě např. k aritmetickému průměru.

Variační rozpětí: je nejjednodušší mírou variability, má stejné jednotky jako naměřené hodnoty. Označuje se R . Výpočet podle rovnice (2.7).



$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (2.7)$$

kde je:

x_{\max} ... maximální naměřená hodnota

x_{\min} ... minimální naměřená hodnota

Výběrová směrodatná odchylka: označuje se s . Určuje se výpočtem odmocniny z rozptylu. Rozptyl je definován jako součet čtverců odchylek jednotlivých naměřených hodnot od aritmetického průměru, který je dělený $(n - 1)$. Pro rozsah souboru menší jak 8 ($n < 8$) je výpočet podle (2.8) a pro rozsah souboru větší než 8 ($n \geq 8$) je výpočet podle (2.9). Jednotky jsou stejné, jako má aritmetický průměr.

$$s = R \cdot k_n \quad (2.8)$$

kde je:

k_n ... koeficient, jehož hodnoty jsou pro různá n uvedeny v tab. 2.2

R ... variační rozpětí

Tab. 2.2: Hodnoty k_n pro různou velikost n

n	3	4	5	6	7
k_n	0,591	0,486	0,430	0,395	0,370

$$s = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_i x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_i x_i)^2}{n-1}} \quad (2.9)$$

kde je:

n ... počet měření

x_i ... naměřené hodnoty

\bar{x} ... aritmetický průměr



Relativní směrodatná odchylka: označuje se s_r . Její výpočet umožňuje rychlejší orientaci, protože se vyjadřuje jako procentuální část aritmetického průměru. Udává se v procentech. Vypočítá se podle vztahu (2.10). [15]

$$s_r = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100(\%) \quad (2.10)$$

kde je:

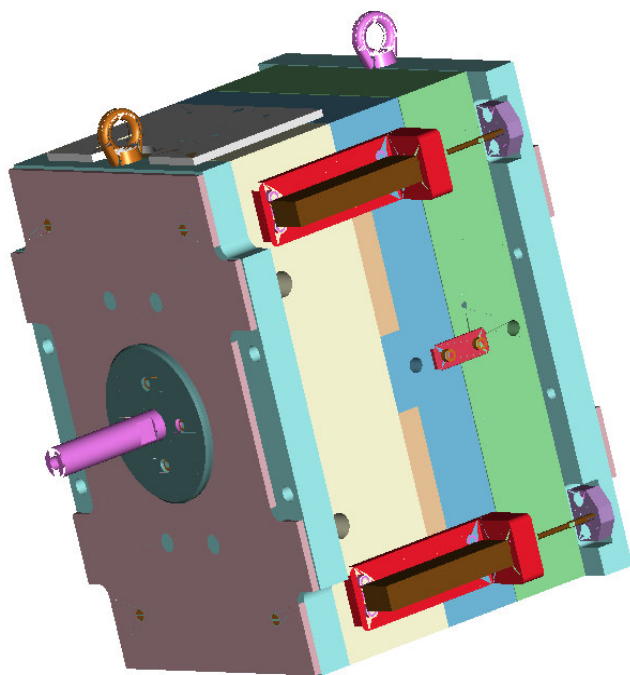
s ... výběrová směrodatná odchylka

\bar{x} ... aritmetický průměr

3. PRAKTICKÁ ČÁST:

3.1 Popis experimentu

Cílem experimentu je měření deformací ve čtyřech symetricky určených bodech na vstřikovací formě v průběhu vstřikovacího cyklu. K měření byly vybrány měřicí optické dotykové sondy. Na experiment byla určena dvojnásobná vstřikovací forma s identickými tvarovými dutinami, což zaručuje stejné vstřikovací podmínky v obou tvarových dutinách. Stávající rám formy byl upraven tak, aby na něj bylo možno uchytit měřicí optické sondy. Po konzultaci s dodavatelem měřících sond bylo vyrobeno jejich uchycení, které zaručuje maximální tuhost celé měřicí soustavy a znemožňuje jakýkoli pohyb měřících sond, což by mohlo způsobovat nepřesnosti v měření. Na obr. 3.1 je zobrazen náhled vstřikovací formy s uchycenými měřicími sondami v programu Pro/Engineer.



Obr.: 3.1. Vstřikovací forma osazená měřicími dotykovými sondami



3.2 Měřicí zařízení

3.2.1 Měřicí optické dotykové sondy

Měřicí sondy byly vybrány dotykové s optickým odměřováním. Sonda má označení MSL 30 a je dodávána firmou JIRKA a spol., s.r.o. Měřicí sonda je charakterizována základními parametry (tab. 3.1, tab. 3.2). [16]

Tab. 3.1: Základní parametry měřicí sondy /16/

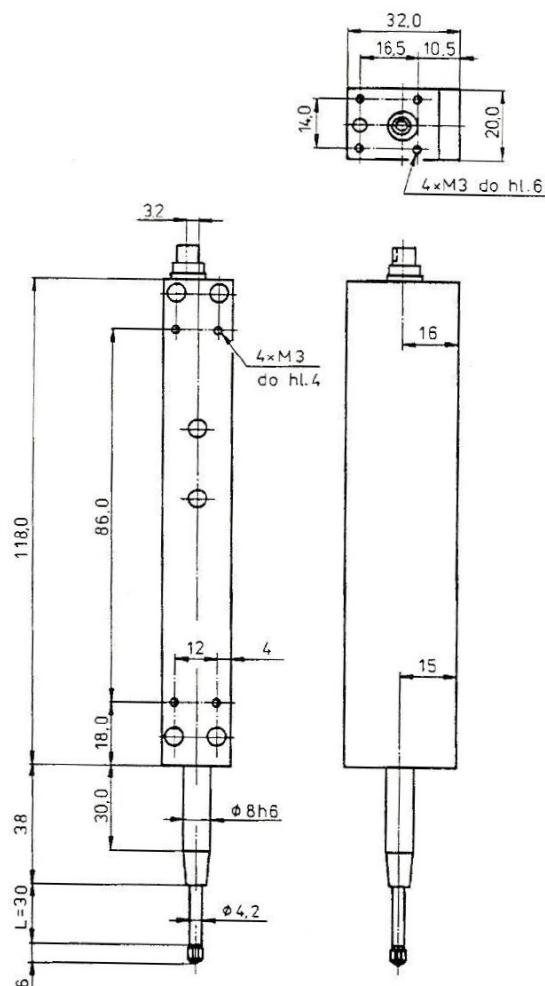
Způsob měření	Optické odměřování
Rozsah měření	0 – 30 mm
Přesnost	$\pm 5 \mu\text{m}$
Rozlišení	0,005 mm
Rychlost posuvu	max. 1 m/min
Signály	Kvadrurní, TTL
Napětí	5V +/- 5 %
Provozní teplota	0 - 60 °C
Vlhkost	< 90 %
Měřicí dotyk	Libovolný s M2,5
Přítlačná síla	0,3 – 0,8 N
Hmotnost	0,25 kg
Měřicí poloha	Libovolná
Rozměr sondy	20 x 32 mm



Tab. 3.2: Elektrické údaje měřící sondy /16/

Provedení výstupních obvodů	Push -pull	OC NPN	OC NPN	Line driver	TTL
Napájecí napětí U_N (V)	+10 až +30		+5		
Vlastní spotřeba I_N (mA) max.	40	60	50		
Výstupní frekvence (kHz) max.	150	100		150	100
Zatížení výst. kanálu I_O (mA) max.	± 25	+25	-25	± 25	-
Délka kabelu (m) max.	50		20		3

Na obr. 3.2 jsou zakresleny všechny důležité základní rozměry měřící sondy včetně míst jejího uchycení.



Obr. 3.2: Základní rozměry měřící optické dotykové sondy MSL 30 /16/



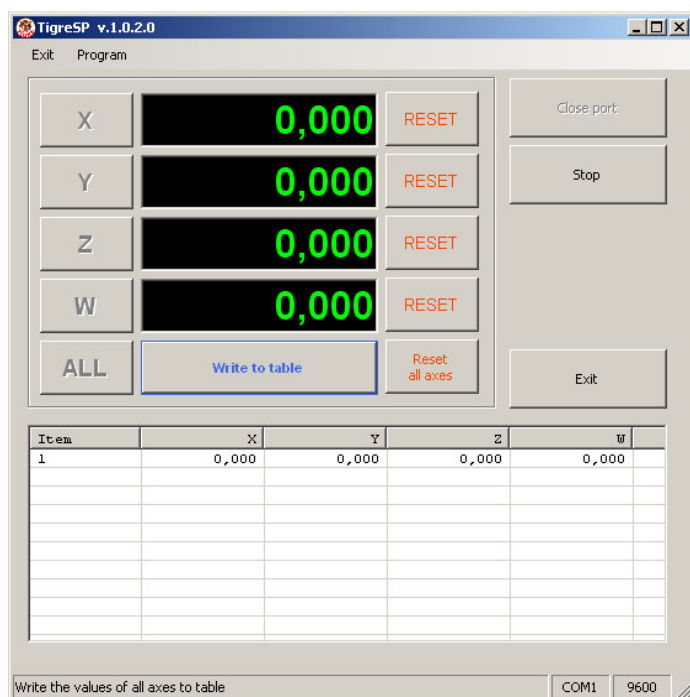
3.2.2 PC interface PC-01-XX

PC interface je určen pro připojení měřících sond, které poskytují kvadrurní signály na úrovni TTL k PC. Čítání absolutní hodnoty ze snímače je založeno na principu, že každá destička uvnitř zařízení je vybavena vlastním čítačem. PC vyšle 1 byte pro jednu osu a jednotka MUX vrátí 24 bitové slovo (3 byte) v pořadí LOW (8 bite), MID (8 bite), HIGH (8 bite). Zařízení je určeno pro 4 osy (4 měřená místa), které jsou označené X=10, Y=20, Z=30, W=40. Po zapnutí se všechny souřadnice nastaví do 000000. Kladné hodnoty rostou, záporné hodnoty (pod 000000) se vysílají jako doplněk. V tab. 3.3 je uvedena technická specifikace zařízení. [17]

Tab. 3.3: Technická specifikace PC interface PC-01-XX /17/

Napájecí napětí	5V (napájení z el. adaptéru 220 V/50 Hz)
Napájecí proud	30 mA / osa (bez snímače)
Provozní teplota	+10 až +40°C
Rychlost	9,6 kbaud
Stop bity	1
Datové bity	8
Parita	žádná
Datový výstup	RS-232
Vstupy	A, B, Z

Pro zapisování naměřených hodnot byl v PC nainstalován počítačový program TigreSP, do kterého se zapisují naměřené hodnoty pro jednotlivé osy. K PC je interface připojen adaptérem USB to Serial, kterým se data přenášejí. Interface dále umožňuje zmrazení všech souřadnic, reset souřadnic a najetí na referenční bod. Na obr. 3.3 je okno programu TigreSP s vynulovanými osami. Na obr. 3.4 je zobrazen PC interface. [17]



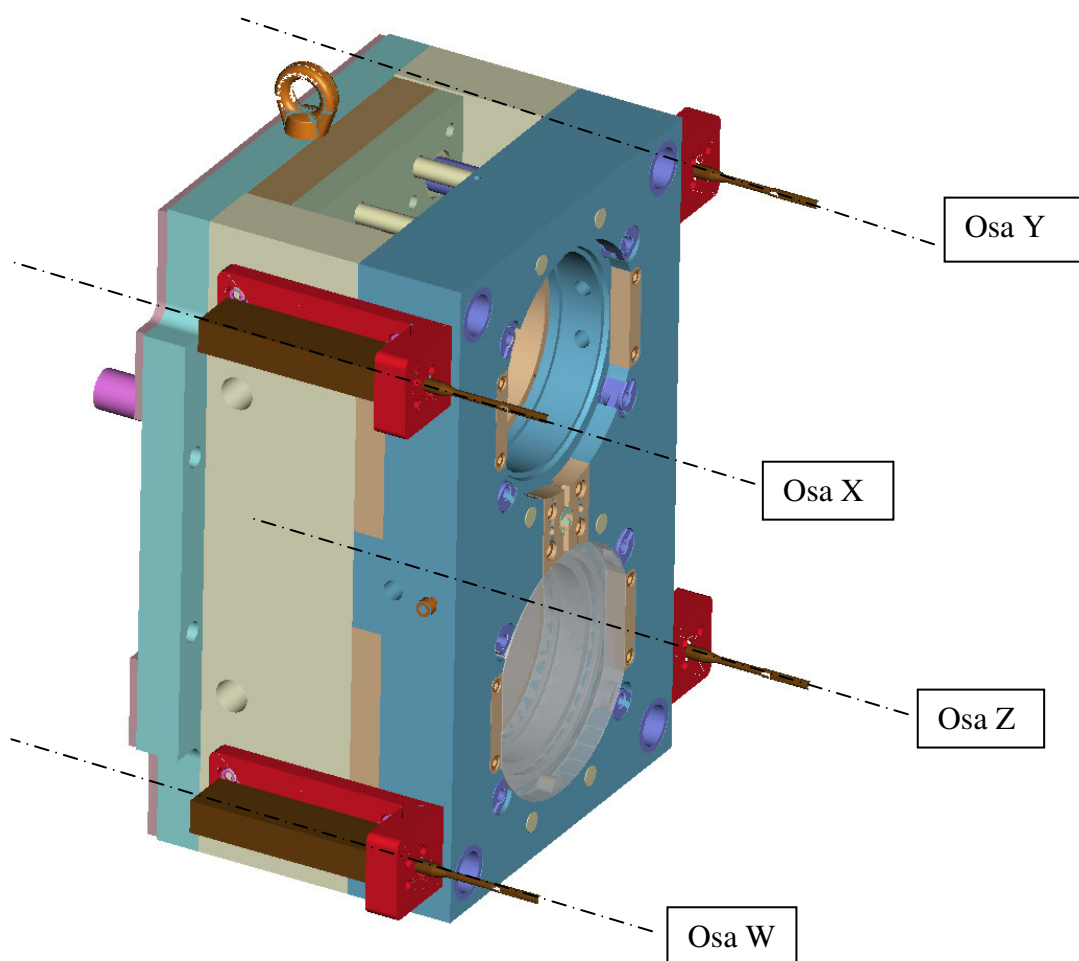
Obr. 3.3: Počítačový program TigreSP pro zobrazení naměřených hodnot /18/



Obr. 3.4: PC interface /17/

3.2.3 Označení měřených bodů na vstříkovací formě

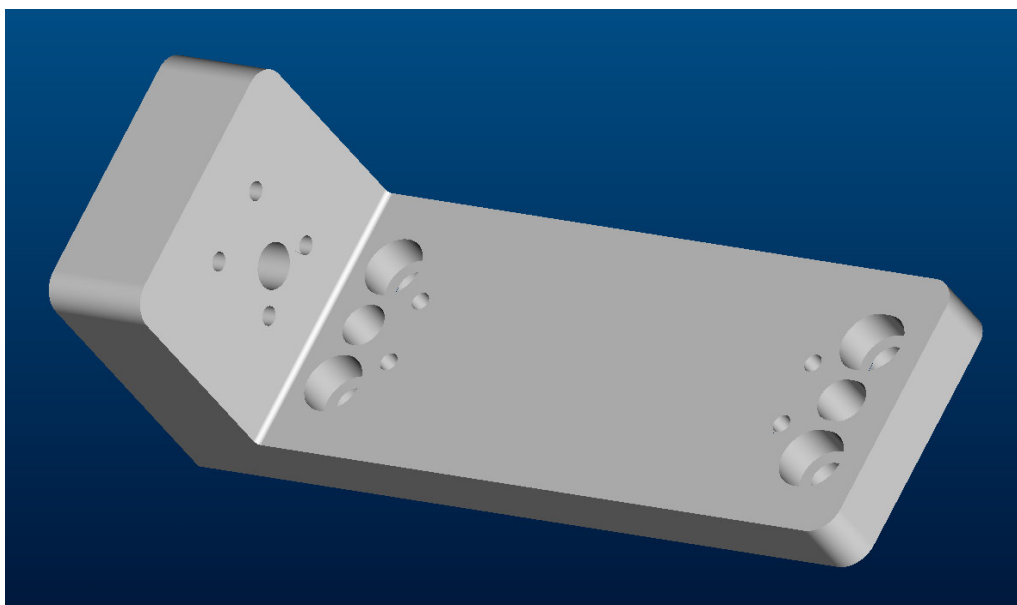
Na vstříkovací formě jsou namontovány čtyři optické měřicí sondy tzn., že měření deformací je provedeno ve čtyřech bodech. Tyto body, resp. optické měřicí sondy, jsou dle konvence výrobce sond a interface označeny jako osa X, osa Y, osa Z a osa W. Na obr. 3.5 je zobrazeno označení měřících sond na vstříkovací formě.



Obr. 3.5: Označení měřících sond na vstříkovací formě.

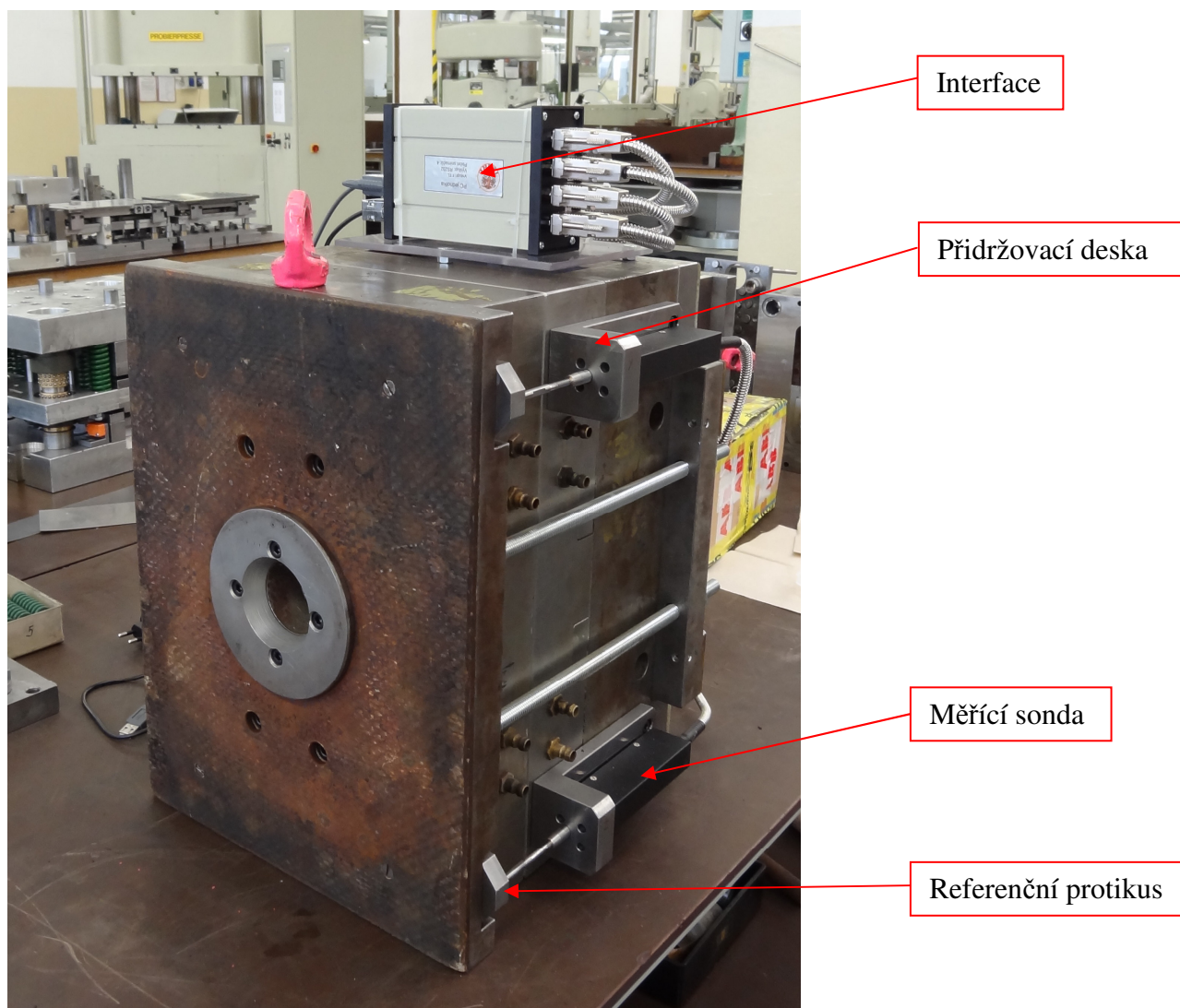
3.2.4 Uchycení měřících sond

Uchycení měřících sond je řešeno tak, aby bylo maximálně zamezeno jejich pohybu a tudíž vzniku nepřesností během měření. Každá měřicí sonda je přichycena na přidržovací desku (obr. 3.6) osmi šrouby ČSN_4762_M3x12 a měřicí tyč sondy, je přesně vedena v otvoru Ø8H7. Přidržovací desky čidel jsou uchyceny na pohyblivé části formy čtyřmi šrouby ČSN_4762_M6x12 a dvěma kolíky ČSN_2338_8x14, což zaručuje maximální tuhost celé soustavy. [19], [20]



Obr. 3.6: Přidržovací deska měřících sond

Na pevné straně vstřikovací formy jsou připevněny protikusy s referenčními plochami, do kterých jsou měřicí sondy opřeny a jejichž poloha je v experimentu sledována. Poloha referenčních protikusů a měřících sond je zobrazena v obr. 3.1. Výrobní výkresy přidržovacích desek a referenčních protikusů jsou obsaženy v příloze diplomové práce (příloha č.1 a č.2). Na obr. 3.7 je zobrazena vstřikovací forma osazená měřícími sondami, které jsou uchyceny v přidržovacích deskách, referenčními protikusy a PC interface, který je přichycen na krycí desku vyhazovacího bloku.



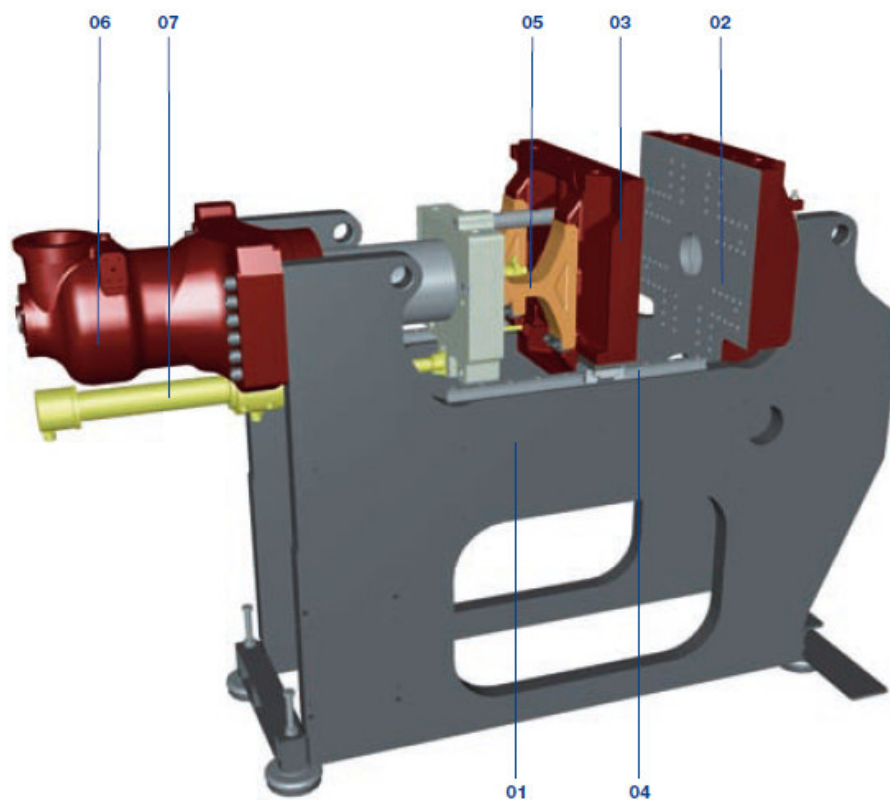
Obr. 3.7: Vstříkovací forma osazená čidly a PC interface.

3.3 Vstříkovací stroje použité v experimentu

Měření deformace desek vstříkovacího stroje je provedeno na hydraulických vstříkovacích strojích. Bezsloupový vstříkovací stroj je vybrán ENGEL VICTORY 330/120 FOCUS. Sloupová technologie je zastoupena vstříkovacím strojem ARBURG 420 C 1300-350.

3.3.1 ENGEL VICTORY 330/120 FOCUS

Základem konstrukční řady vstřikovacích strojů ENGEL Victory je koncepce bezsloupového systému. Hlavními výhodami jsou neomezený přístup k uzavírací jednotce a efektivní využití upínací plochy. To šetří čas při upínání forem a zjednodušuje automatizaci výroby. Bezsloupové vstřikovací stroje ENGEL jsou hydraulicky ovládané vstřikovací stroje. Na obr. 3.8 je znázorněno rozdělení jednotlivých částí uzavírací jednotky včetně popisu, jejich názvu a funkce. [9]



Obr. 3.8: Hlavní části uzavírací jednotky /9/



01 C-rám: místo sloupů přebírají u bezsloupového systému C-rámů funkci přenosu síly dva rámové elementy ve tvaru C, jejichž průřez je asi desetinásobkem průřezu sloupů u porovnávaného stroje s vodíci sloupy. Výsledkem je pevný systém s minimálním elastickými deformacemi během realizace uzavírací síly.

02 Pevná upínací deska: pevná upínací deska je na C-rámových elementech celoplošně podepřena. V porovnání se čtyřbodovým podložením u stroje s vodíci sloupy je zde výrazně zvětšená podpěrná plocha.

03 Pohyblivá upínací deska: pohyblivá upínací deska je spojena přes Flexlink s hydraulickou přitlačnou jednotkou a umístěna na lineárních ložiscích. Konstrukce Flexlinku zajišťuje rovnoměrné vedení síly.

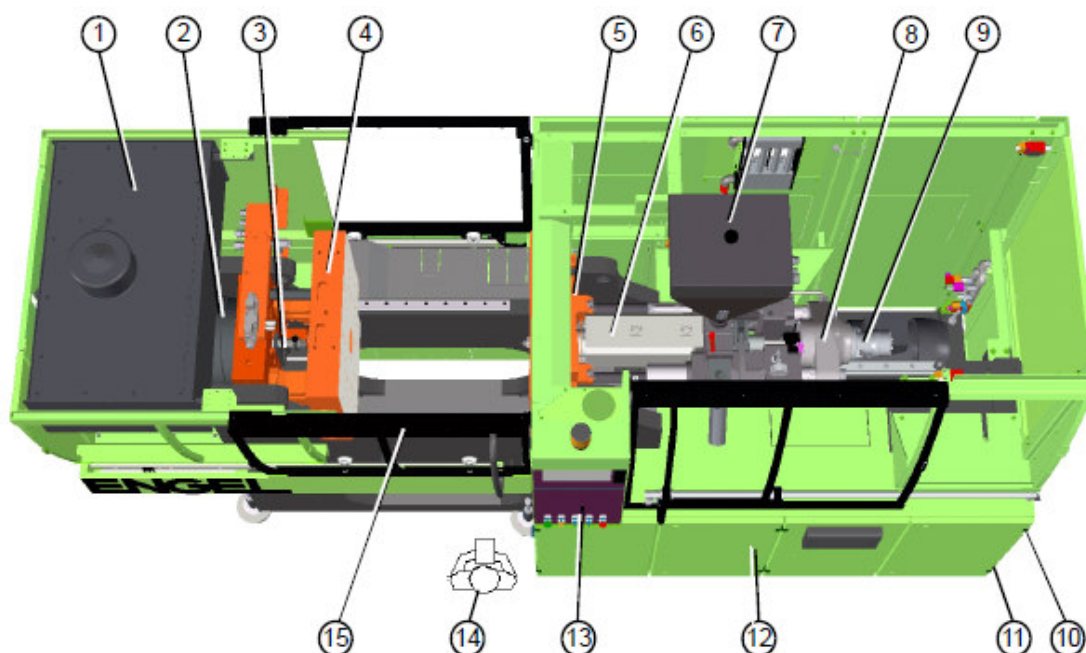
04 Lineární ložiska pro pohyblivou desku: lineární ložiska slouží k vedení desky a současně jako podpora hmotnosti desky se vstřikovací formou. Rozměrné formy mohou být společně s podporou desky podepřeny odděleně na stejném vedení. Lineární ložiska vykazují velmi malé tření a tvoří důležitý předpoklad pro funkci systému ochrany formy.

05 Flexlink: je bezúdržbový ohebný prvek mezi tlakovým pístem a upínací deskou. Tento strojní element kompenzuje elastickou deformaci rámu a zajišťuje paralelitu desek při realizaci uzavírací síly. Konstrukční provedení Flexlinku umožňuje neomezený přístup ke spojce vyhazovače.

06 Tlakový píst: slouží k vybudování uzavírací síly.

07 Pojezdový píst: pojezdový píst má malý objem oleje a umožňuje rychlé pohyby při otevírání a zavírání.

Na obr. 3.9 jsou zobrazeny hlavní části vstřikovacího stroje ENGEL VICTORY 330/120F



Obr. 3.9: Vstřikovací stroj ENGEL VICTORY 330/120F /21/

- 1 – Olejová nádrž
- 2 – Uzavírací válec
- 3 – Hydraulický vyhazovač
- 4 – Pohyblivá upínací deska
- 5 – Pevná upínací deska
- 6 – Plastifikační válec s tryskou
- 7 – Násypka
- 8 – Vstřikovací agregát
- 9 – Pohon šneku dávkováním
- 10 – Hlavní vypínač
- 11 – Připojení sítě
- 12 – Spínací skříň
- 13 – Ovládací panel s obrazovkou
- 14 – Místo pro obsluhu a personál
- 15 – Posuvná ochranná zábrana uzávěru



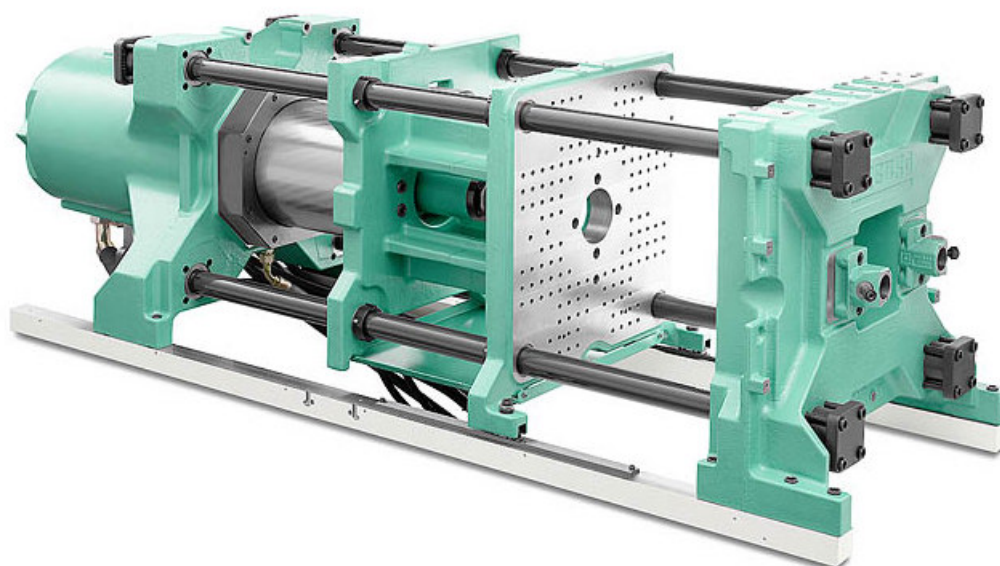
Hlavní parametry vstřikovacího stroje ENGEL VICTORY 330/120F jsou uvedeny v tab. 3.4

Tab. 3.4: Hlavní parametry vstřikovacího stroje ENGEL VICTORY 330/120F /21/

Uzavírací jednotka	
Uzavírací síla	1200 [kN]
Dráha otevření	507 [mm]
Zdvih vyhazovače	130 [mm]
Vyhazovací síla	39.8 [kN]
Pohon	
Výkon čerpadla	15 [kW]
Vstřikovací jednotka	
Průměr šneku	25/30/35/40 [mm]
Max. objem zdvihu	79/113/154/201 [cm ³]
Počet otáček šneku	400/400/400/320 [min ⁻¹]
Vstřikovací rychlost	77/111/151/197 [cm ³ /s]
Speciální vstřikovací tlak	2195/2178/1600/1225 [bar]
Dráha trysky	250 [mm]
Přidrzná síla trysky	47,1 [kN]

3.3.2 ARBURG 420 C 1300-350

ARBURG 420 C 1300-350 je hydraulický vstřikovací stroj. Uzavírací jednotku tvoří hydraulický válec, pevná upínací deska, jejíž paralelitu zaručují velké podpěrné plochy a pohyblivá upínací deska, která je vložena do tuhé skříňové konstrukce s přesným vedením na čtyřech vodících sloupech a vertikálních podpěrách. Hydraulický vyhazovač je opatřen rychloupínací spojkou, která umožňuje snadné spojení vyhazovacího čepu vstřikovací formy s hydraulickým válcem. Na obr. 3.10 je znázorněna uzavírací jednotka vstřikovacího stroje ARBURG. [8]



Obr. 3.10: Vstřikovací jednotka stroje ARBURG /8/

Vstřikovací jednotka stroje se skládá z hydraulického pohonu s hydromotorem, nerezové násypky pro plnění, modulu komory s vyhřívaným plastifikačním válcem, plastifikačním šnekem, vstřikovací tryskou a rychloupínací spojkou, která spojuje plastifikační šnek s hydromotorem plastifikačního válce. Pohon dávkování je vybaven AC-servomotorem, což zvětšuje úsporu energie. Rám vstřikovacího stroje je svařovaná konstrukce z ocelových plechů. Nádrž hydraulického oleje je přímo integrována do rámu stroje. Hydraulický pohon se skládá z hydromotoru, hlavního čerpadla a z vysokotlakého



čerpadla. Celá uzavírací jednotka je podepřena a vedena na dvou vodících lyžinách. Teplota oleje a skříňového rozvaděče je regulována pomocí oddělených okruhů chladicí vody. Vstřikovací stroj je ovládán 32-bitovým multiprocessorovým řídicím systémem SELOGICA. Hlavní parametry vstřikovacího stroje ARBURG 420 C 1300-350 jsou uvedeny v tabulce 3.5. [8]

Tab. 3.5: Hlavní parametry vstřikovacího stroje ARBURG 420 C 1300-350 /8/

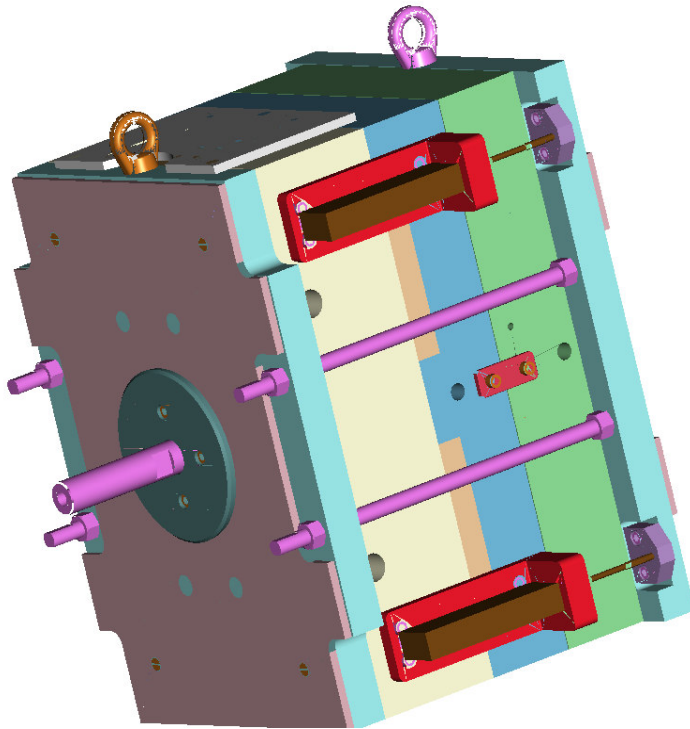
Uzavírací jednotka	
Uzavírací síla	1300 [kN]
Dráha otevření	500 [mm]
Zdvih vyhazovače	175 [mm]
Vyhazovací síla	40 [kN]
Světlost mezi upínacími deskami	750 [mm]
Vzdálenost mezi vodícími sloupky	420x420 [mm]
Velikost upínací desky	605x605 [mm]
Pohon	
Výkon čerpadla	22 [kW]
Celkový příkon stroje	33,9 [kW]
Vstřikovací jednotka	
Průměr šneku	35/40/45 [mm]
Max. objem zdvihu	139/182/230 [cm ³]
Počet otáček šneku	400/400/400/320 [min ⁻¹]
Vstřikovací rychlost	128/168/212 [cm ³ /s]
Speciální vstřikovací tlak	2500/2120/1670 [bar]
Dráha trysky	300 [mm]
Přídržná síla trysky	65 [kN]



3.4 Instalace vstříkovací formy do vstříkovacího stroje

Vstříkovací forma osazená čtyřmi měřícími optickými sondami a PC interface je na pracovní desce složena a spojena speciálním spojovacím páskem. Dále je na vstříkovací formu namontován pojistný mechanismus, který se skládá ze čtyř závitových tyčí M12. Závitové tyče jsou přišroubovány do upínací desky na pevné části formy a za upínací deskou na pohyblivé části je na každou závitovou tyč přišroubována matice ČSN_4032_M12 stejným utahovacím momentem 50 Nm. Toto řešení zaručuje velmi tuhé spojení soustavy desek vstříkovací formy a zabraňuje jejich pohybu při manipulaci a upínání vstříkovací formy na vstříkovací stroj. Měřící zařízení je napojeno na PC (notebook) a převezeno k vstříkovacímu stroji ENGEL VICTORY 330/120F. Nejprve je vstříkovací forma připevněna na pevnou část vstříkovacího stroje středícím mechanismem. Měřící optické sondy jsou v tomto stavu vynulovány ve všech čtyřech měřených osách a jejich hodnota je brána jako referenční nula, což je spojení desek vstříkovací formy bez deformace způsobené uzavírací silou vstříkovacího stroje. Následně jsou demontovány spojovací mechanismy a poté přijíždí pohyblivá upínací deska vstříkovacího stroje a na ní je upevněna a vystředěna pohyblivá část formy. Takto je vstříkovací forma uchycena na vstříkovací stroj a připravena na experimentální měření během vstříkovacího cyklu. [19], [20], [22], [23]

Stejný postup osazení vstříkovací formy je proveden na vstříkovacím stroji ARBURG 420 C 1300-350. Na obr. 3.11 je zobrazeno spojení vstříkovací formy pomocí čtyř závitových tyčí. V příloze č.3 diplomové práce je výrobní výkres závitových tyčí.



Obr. 3.11: Spojovací mechanismus vstřikovací formy

3.5 Plastový materiál použitý v experimentu

3.5.1 Polyamid 6

V experimentu je v procesu vstřikování použit materiál Badamid B70 GF FR FH, což je semikrystalický termoplast tvořený lineárními molekulami a obsahující 30% skleněných vláken. Obsah krystalické fáze je 25-45%. Skleněná vlákna zlepšují konstrukční vlastnosti a tvarovou stálost, zhoršují však otěruvzdornost a houževnatost. Polyamid 6 je silně polární plast a proto snadno absorbuje vodu. Mezi makromolekulami vzniká vodíkový můstek, což způsobuje vysokou pevnost plastu. Výrobce tohoto plastu je firma BADA AG. V tab. 3.6 jsou uvedeny základní vlastnosti vstřikovaného materiálu. [2]



Tab. 3.6: Základní vlastnosti materiálu Badamid B70 GF FR FH /24/

	Testovací podmínky	Testovací metoda	Jednotky	Suchý materiál, stejný jako při vstřikování	Kondicionovaný mat. při: 23°C, 50% vlhkost vzduchu
Mechanické vlastnosti					
Modul pružnosti	23°C, 1mm/Min	ISO 527-1/2	MPa	9500	6200
Napětí v ohybu	23°C, 5mm/Min	ISO 527-1/2	MPa	-	85
Prodloužení	23°C, 5mm/Min	ISO 527-1/2	%	2,5	3,5
Rázová houževnatost Charpy	23°C	ISO 179/1eU	kJ/m ²	60	80
	-30°C	ISO 179/1eU	kJ/m ²	50	-
Vrubová houževnatost Charpy	23°C	ISO 179/1eA	kJ/m ²	10	23
	-30°C	ISO 179/1eA	kJ/m ²	9	-
Vrubová houževnatost Izod	23°C	ISO 180/1A	kJ/m ²	10	18
	-30°C	ISO 180/1A	kJ/m ²	9	-
Tepelné vlastnosti					
Teplota tavení	10 K/Min	ISO 3146	°C	222	-
Teplota průhybu při zatížení	0,45 MPa	ISO 75-1/2	°C	215	-
	1,8 MPa	ISO 75-1/2	°C	205	-
Maximální teplota použití	Několik hodin	-	°C	190	-
	20000 hodin	IEC 216	°C	110	-
Elektrické vlastnosti					
Relativní permitivita	1 MHz	IEC 250	-	4,2	4,5
Ztrátový faktor	1 MHz	IEC 250	E-4	200	1000
Vnitřní resistivita	-	IEC 93	Ω cm	10 ¹⁵	10 ¹²
Povrchová resistivita	-	IEC 93	Ω	10 ¹²	10 ¹⁰
Ostatní vlastnosti					
Absorpce vody	23°C, nasycení	ISO 62	%	6,0	-
Absorpce vlhkosti	23°C, 50% vlhkost vzduchu	ISO 62	%	1,8	-
Hustota	23°C	ISO 1183	g/cm ³	1,4	-
Vstřikovací proces					
Teplota tavení	-	-	°C	260-280	-
Teplota sušení	-	-	°C	80	-
Doba sušení	-	-	Min.	120-240	-



3.5.2 Polykarbonát

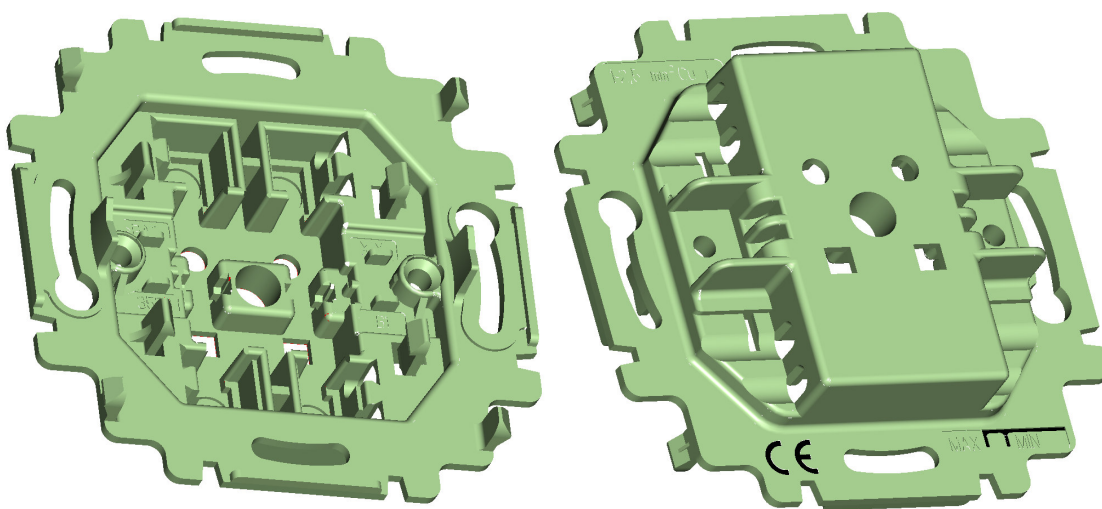
V experimentu je v procesu vstřikování použit materiál XANTAR 19 R, což je amorfni termoplast. Vyznačuje se dobrými mechanickými vlastnostmi, vysokou houževnatostí a dobrými elektroizolačními vlastnostmi. Výrobce tohoto plastu je firma DSM Engineering Plastics. V tab. 3.7 jsou uvedeny základní vlastnosti vstřikovaného materiálu. [2]

Tab. 3.7: Základní vlastnosti materiálu XANTAR 19 R /25/

	Testovací podmínky	Testovací metoda	Jednotky	Suchý materiál, stejný jako při vstřikování
Mechanické vlastnosti				
Modul pružnosti	1mm/Min	ISO 527-1	MPa	2300
Mez kluzu	50mm/Min	ISO 527-1	MPa	60
Rázová houževnatost	23°C	ISO 180-4AR	kJ/m ²	Bez přeražení
Izod	-30°C	ISO 180-4AR	kJ/m ²	-
Vrubová houževnatost Izod	23°C	ISO 180-4A	kJ/m ²	70
	-30°C	ISO 180-4A	kJ/m ²	-
Tepelné vlastnosti				
Teplota průhybu při zatížení	HDT-A	ISO 75-1	°C	130
Vicat	B50/ 50N	ISO 306	°C	145
Elektrické vlastnosti				
Relativní permitivita	100 Hz	IEC 60250	-	2,9
Relativní permitivita	1 MHz	IEC 60250	-	2,8
Elektrická pevnost	-	IEC 60243-1	kV/mm	29
Ztrátový faktor	100 Hz	IEC 60250	E-4	6,6
Ztrátový faktor	1 MHz	IEC 60250	E-4	92
Vnitřní resistivita	-	IEC 60093	Ω cm	10 ¹⁵
Ostatní vlastnosti				
Absorpce vody	23°C, nasycení	ISO 62	%	0,15
Smrštění	-	-	%	0,5-0,7
Hustota	-	ISO 1183	g/cm ³	1,2
Vstřikovací proces				
Teplota tavení	-	-	°C	280-320
Teplota sušení	-	-	°C	120
Doba sušení	-	-	Min.	240-300

3.6 Vstříkovaný díl

Vstříkovací forma, na které se provádí měřicí experiment, je pro díl, který tvoří spodní část výrobků v produktové řadě SWING®. Je použit v jednopólových spínačích, střídavých přepínačích a zapínacích ovladačích. Na obr. 3.12 je zobrazen 3D model vstříkovaného dílu z horního a dolního pohledu.



Obr. 3.11: 3D model vstříkovaného dílu

3.7 Průběh vstříkování během experimentu

Před zahájením měření deformací byly na vstříkovacích strojích nastaveny vstříkovací parametry pro daný plastový materiál a vstříkovací cyklus byl optimalizován tak, že získané výstřiky splňovaly rozměrové a vzhledové požadavky. Hledisko kvality výstřiku pak může splňovat sekundární kritérium vyhodnocování dat získaných v experimentu. Vstříkovací parametry pro polyamid 6 a polykarbonát byly na obou typech vstříkovacích strojů nastaveny identicky. Na obr. 3.13 a obr. 3.14 jsou zobrazeny časové úseky vstříkovacích cyklů získané přímo z operačního systému vstříkovacího stroje ENGEL.



Obr. 3.13: Časové fáze vstřikovacího cyklu pro vstřikování výrobku z polyamidu 6



Obr. 3.14: Časové fáze vstřikovacího cyklu pro vstřikování výrobku z polykarbonátu



V tab. 3.7 a tab. 3.8 jsou uvedeny velikosti hlavních vstřikovacích parametrů pro dané plastové materiály během realizace experimentu.

Tab. 3.7: základní vstřikovací parametry pro materiál polyamid 6

Vstřikovací parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [bar]	1500
Vstřikovací rychlost [cm^3/s]	35,3
Teplota vstřikovaného materiálu [$^{\circ}\text{C}$]	265
Dotlak [bar]	750
Teplota tvárnice [$^{\circ}\text{C}$]	40
Teplota tvárníku [$^{\circ}\text{C}$]	40

Tab. 3.8: základní vstřikovací parametry pro materiál polykarbonát

Vstřikovací parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [bar]	1800
Vstřikovací rychlost [cm^3/s]	35,3
Teplota vstřikovaného materiálu [$^{\circ}\text{C}$]	295
Dotlak [bar]	900
Teplota tvárnice [$^{\circ}\text{C}$]	40
Teplota tvárníku [$^{\circ}\text{C}$]	40



4 VYHODNOCENÍ

4.1 Naměřené hodnoty v experimentu

V experimentu bylo provedeno celkem 12 typů měření lišících se ve velikosti uzavírací síly na vstřikovacím stroji a vstřikovaného materiálu, a tudíž i v nastavení vstřikovacích parametrech pro daný typ materiálu. V každém měření bylo provedeno 30 zdvihů. Naměřené hodnoty jsou uvedeny pro část vstřikovacího cyklu od vstřikování materiálu do tvarové dutiny formy do přepnutí na dotlak. Experimentální měření bylo provedeno podle následujícího harmonogramu:

ENGEL VICTORY 330/120 FOCUS

- 1) 30 zdvihů uzavírací síla 300 KN – Polyamid 6
- 2) 30 zdvihů uzavírací síla 600 KN – Polyamid 6
- 3) 30 zdvihů uzavírací síla 900 KN – Polyamid 6
- 4) 30 zdvihů uzavírací síla 300 KN – Polykarbonát
- 5) 30 zdvihů uzavírací síla 600 KN – Polykarbonát
- 6) 30 zdvihů uzavírací síla 900 KN – Polykarbonát

ARBURG 420 C 1300-350

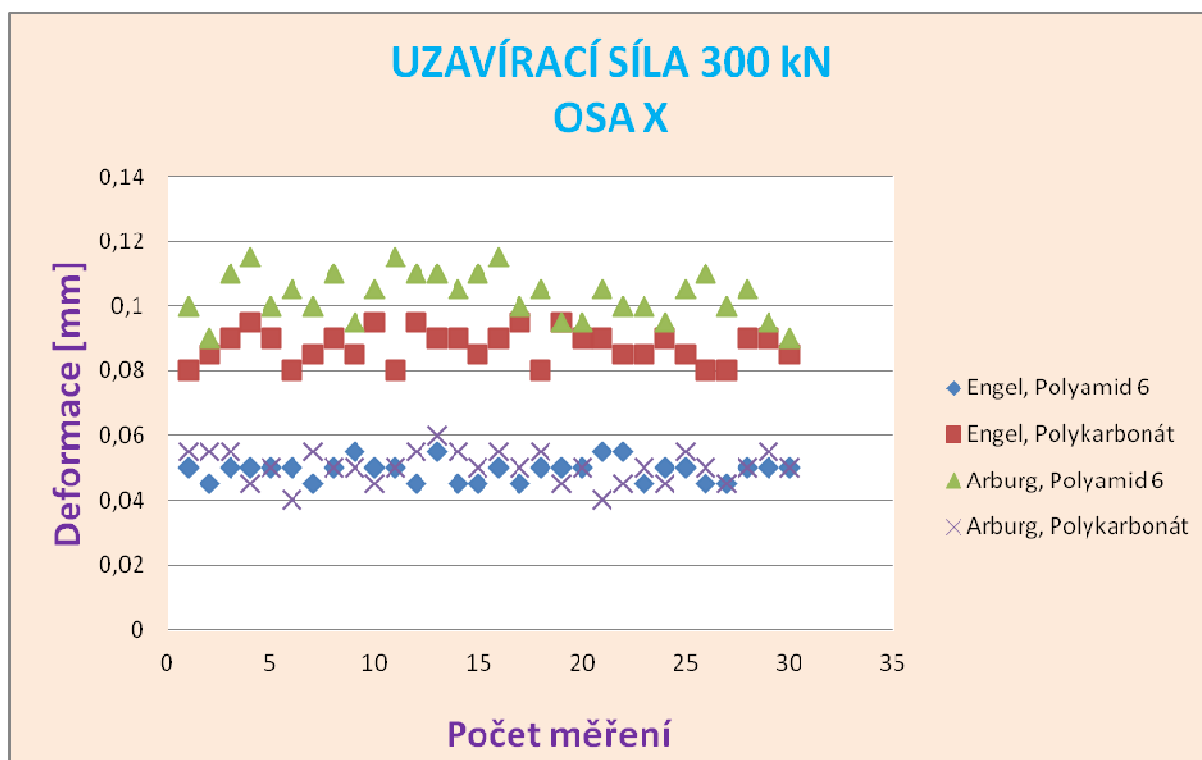
- 7) 30 zdvihů uzavírací síla 300 KN – Polyamid 6
- 8) 30 zdvihů uzavírací síla 600 KN – Polyamid 6
- 9) 30 zdvihů uzavírací síla 900 KN – Polyamid 6
- 10) 30 zdvihů uzavírací síla 300 KN – Polykarbonát
- 11) 30 zdvihů uzavírací síla 600 KN – Polykarbonát
- 12) 30 zdvihů uzavírací síla 900 KN – Polykarbonát



V přílohách č. 4-7 jsou uvedeny tabulky s naměřenými hodnotami deformací pro dané velikosti uzavíracích sil na zvolených vstřikovacích strojích a pro dané plastové materiály. Měřicí body optických měřících sond jsou označeny v souladu s konvencí jejich výrobce jako osa X, osa Y, osa Z a osa W.

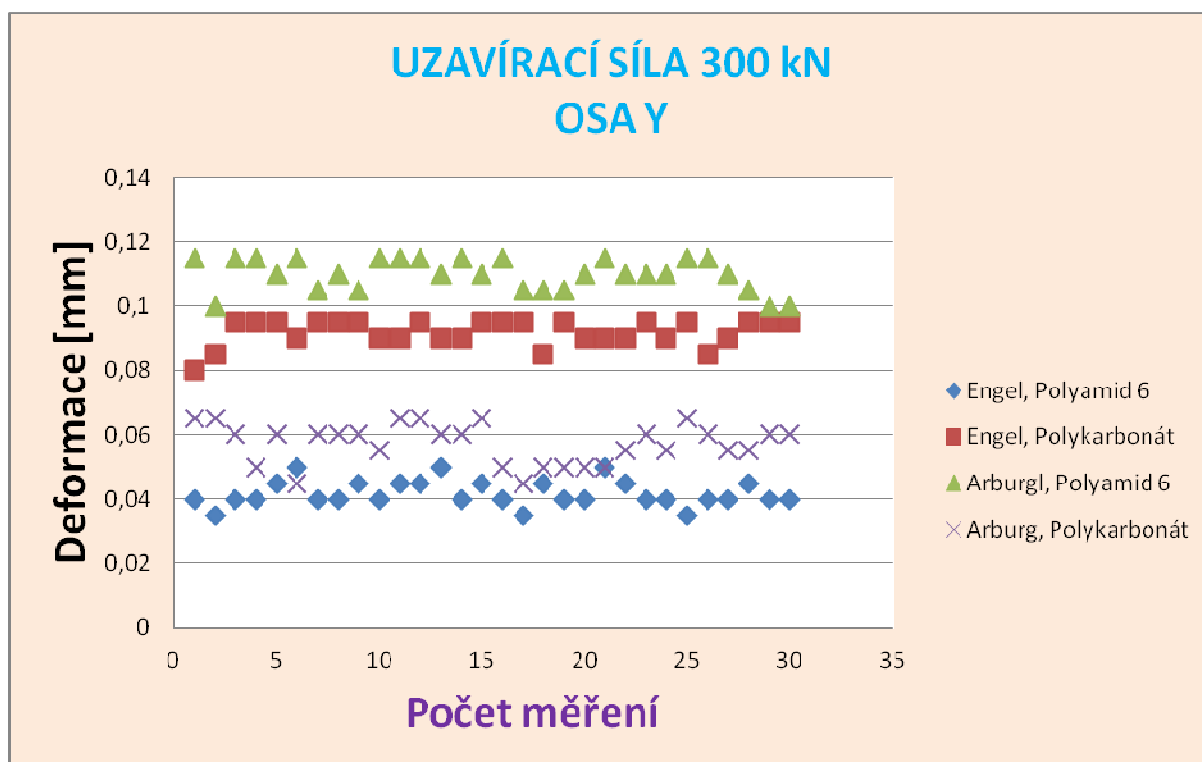
V grafech č. 1-8 jsou znázorněny naměřené hodnoty deformací pro jednotlivé zdvihy vstřikovacího stroje. V každém grafu jsou uvedeny získané hodnoty pro danou velikost uzavírací síly a zvolený měřicí bod a jsou v něm vždy zobrazeny všechny naměřené hodnoty pro vstřikovací stroj a plastový materiál.

Graf č. 4.1: Uzavírací síla 300 kN, osa X

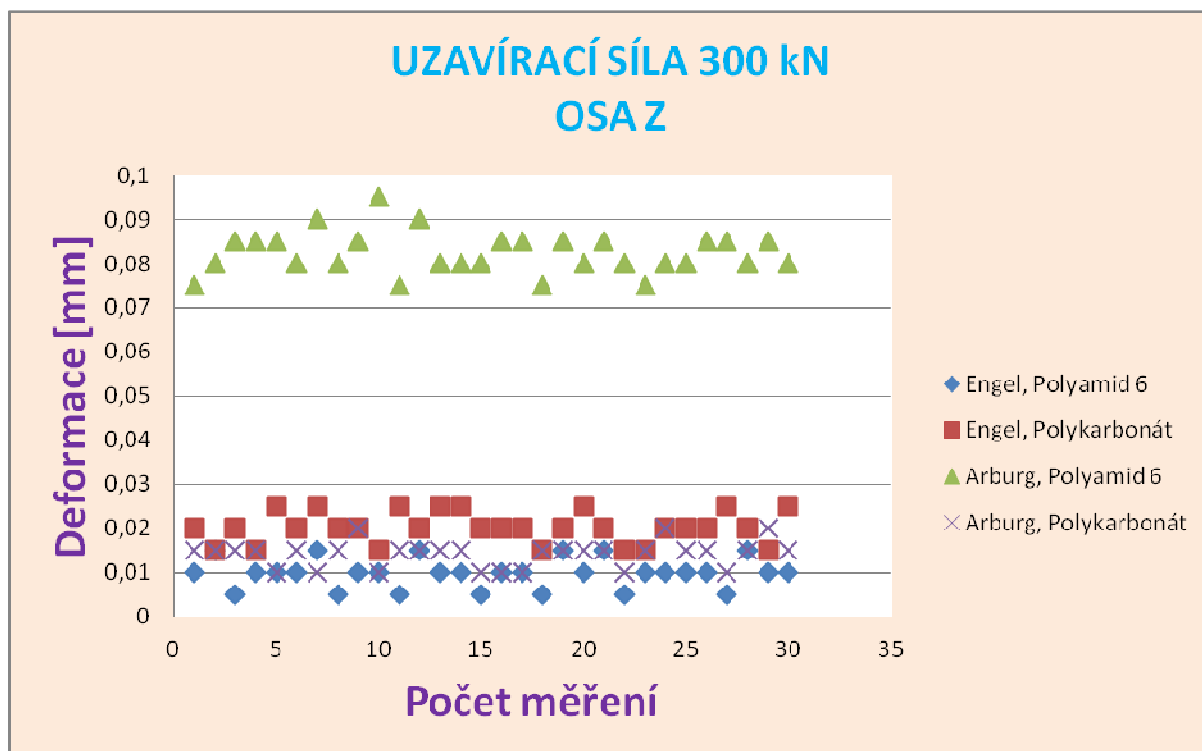




Graf č. 4.2: Uzavírací síla 300 kN, osa Y

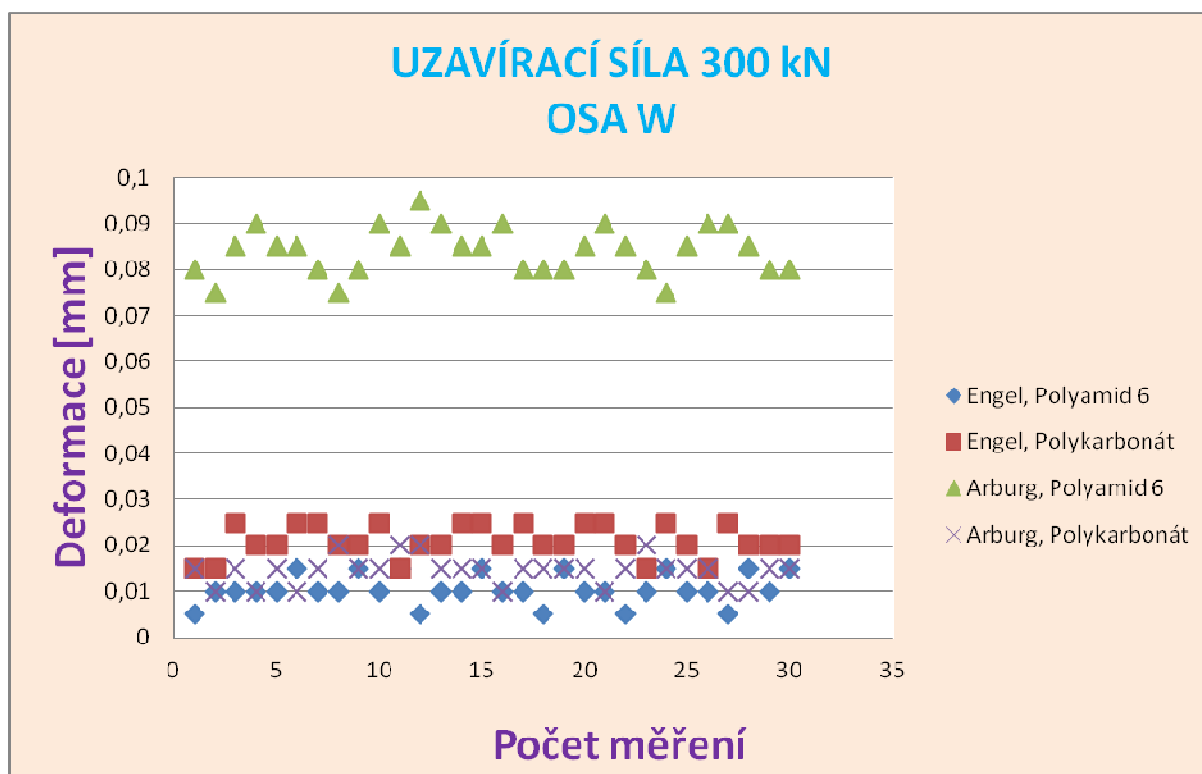


Graf č. 4.3: Uzavírací síla 300 kN, osa Z

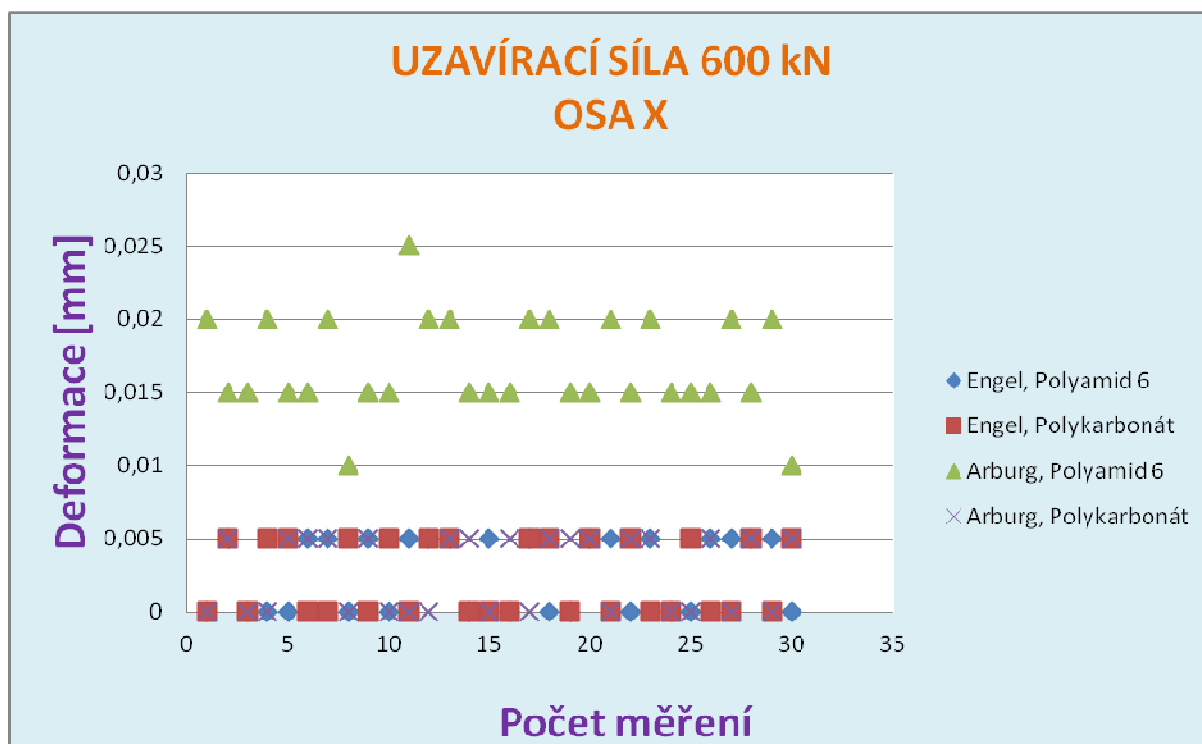




Graf č. 4.4: Uzavírací síla 300 kN, osa W

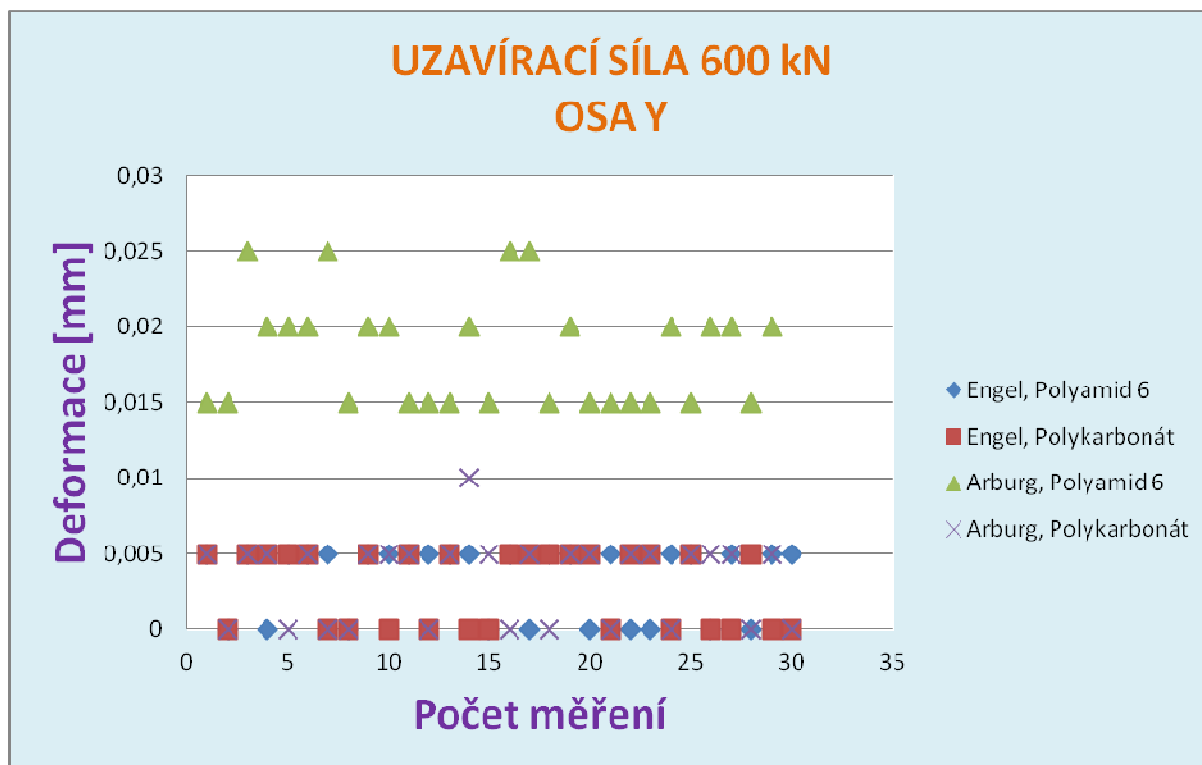


Graf č. 4.5: Uzavírací síla 600 kN, osa X

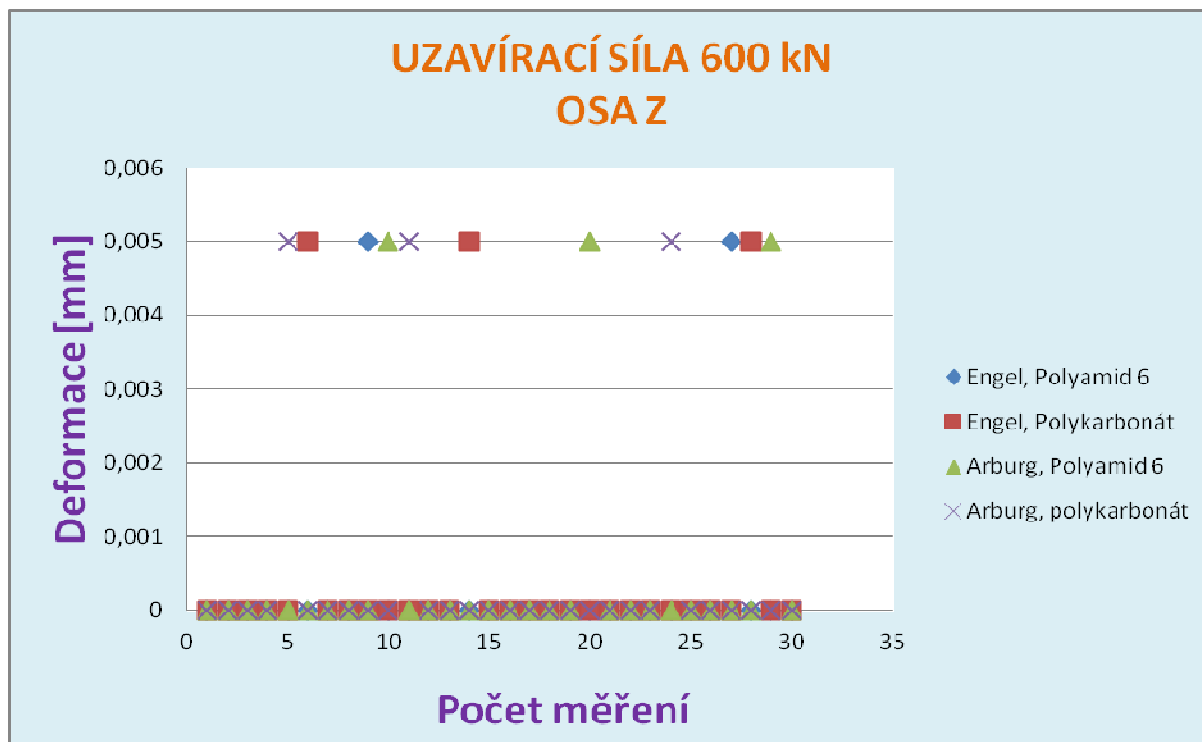




Graf č. 4.6: Uzavírací síla 600 kN, osa Y

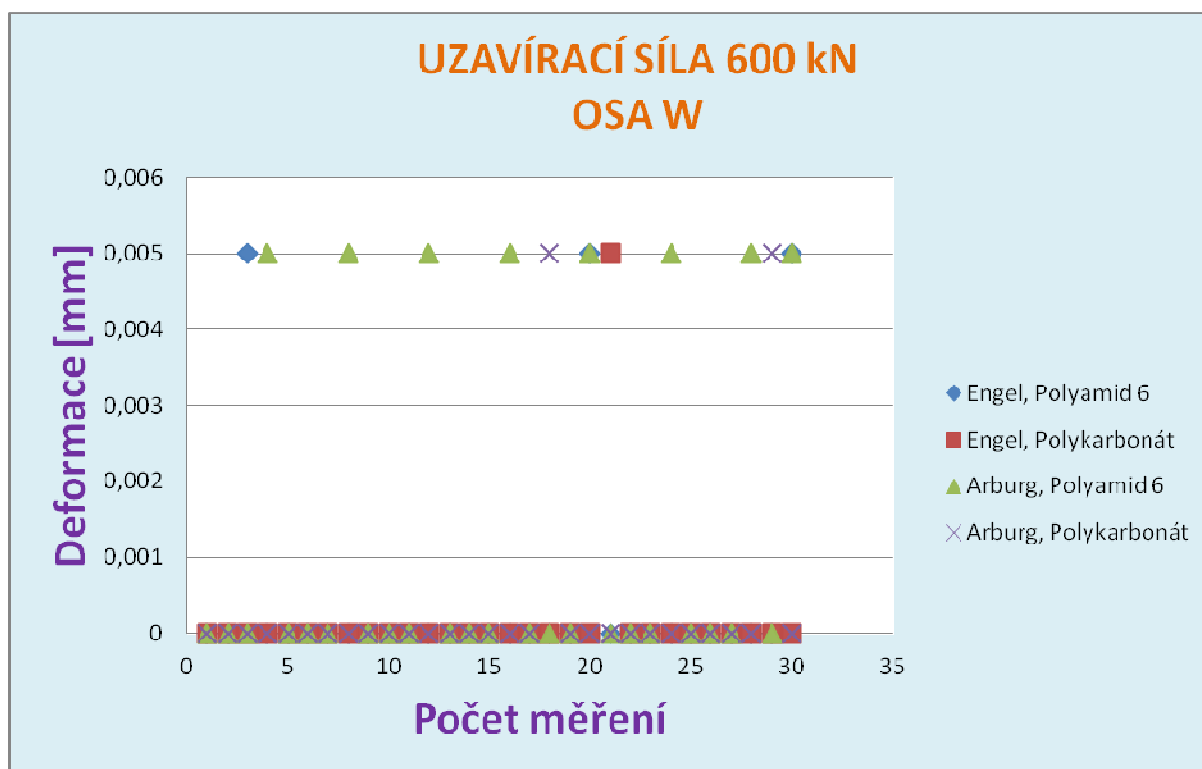


Graf č. 4.7: Uzavírací síla 600 kN, osa Z





Graf č. 4.8: Uzavírací síla 300 kN, osa W



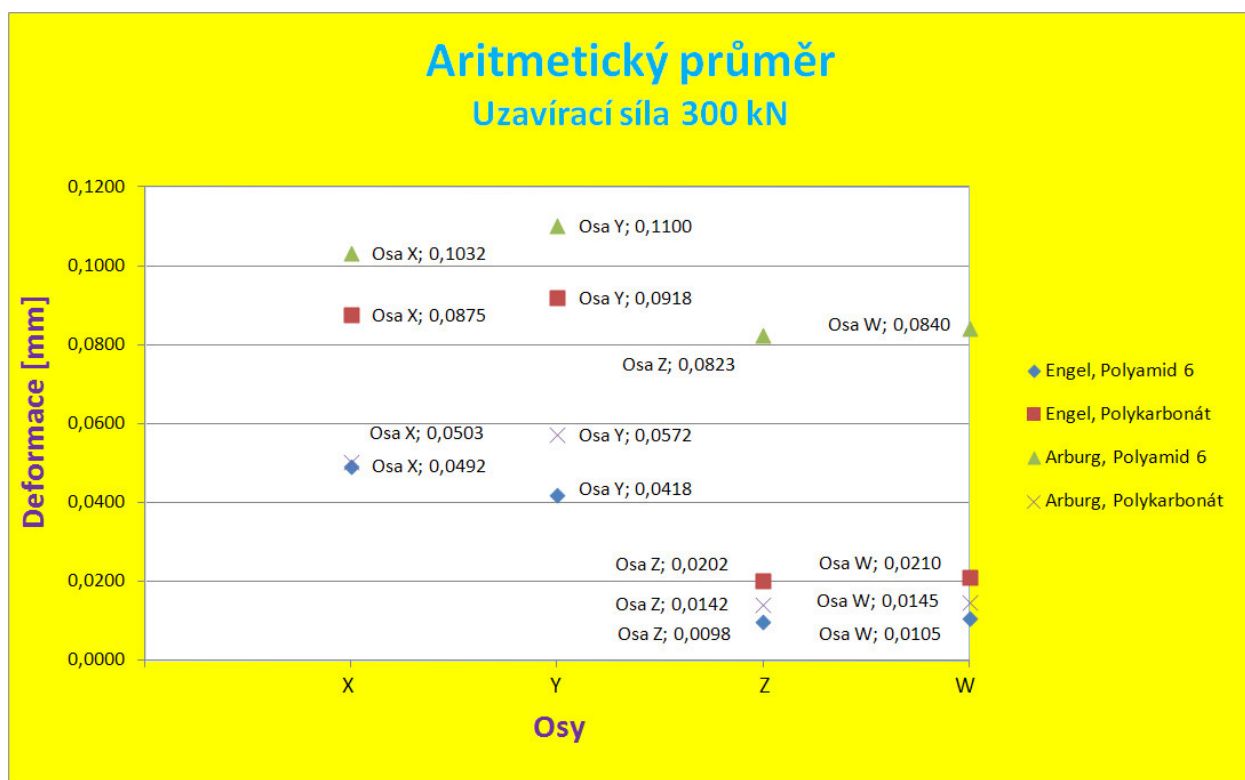
Pro uzavírací sílu 900 kN jsou všechny naměřené hodnoty nulové.



4.2 Statistické vyhodnocení naměřených hodnot

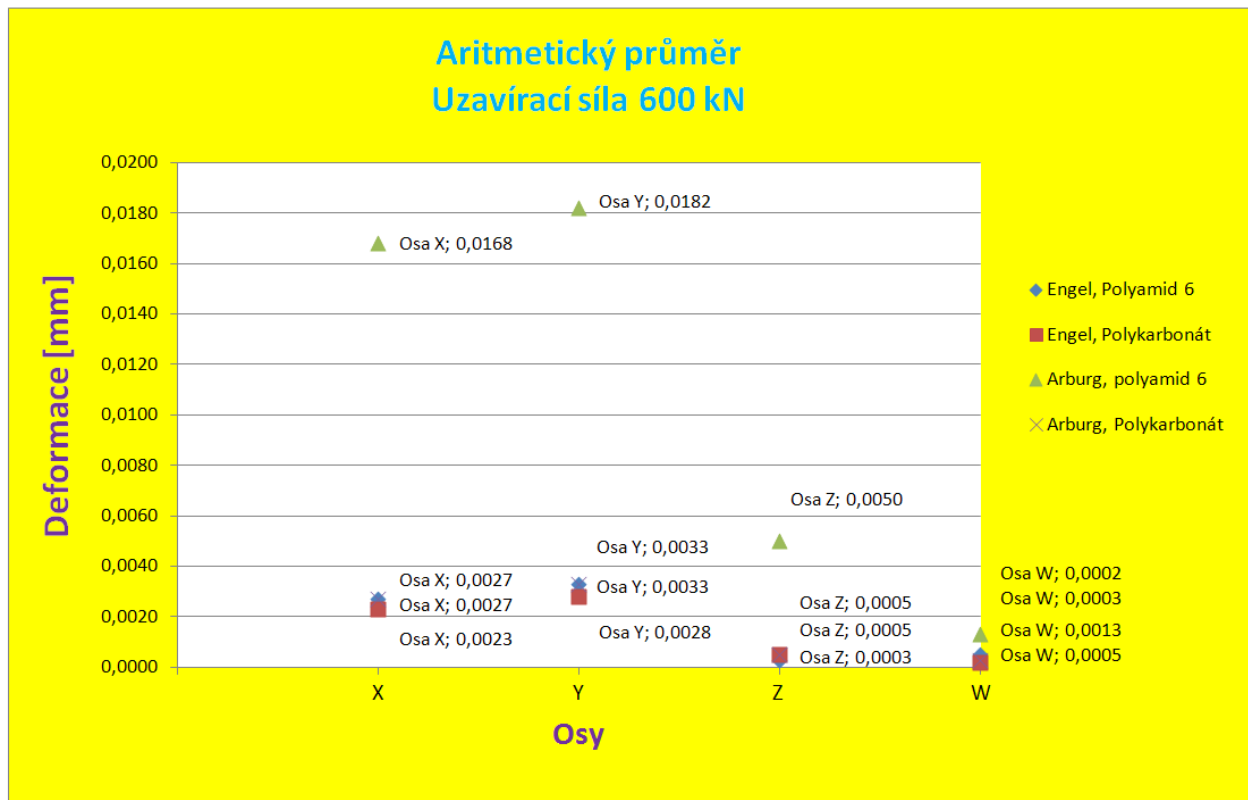
V přílohách č.8–15 jsou vypracovány tabulky s vybranými statistickými charakteristikami. Pro uzavírací sílu 900 kN jsou všechny naměřené hodnoty nulové a tudíž jsou nulové i všechny statistické charakteristiky. V grafu č.9 a v grafu č.10 jsou zobrazeny hodnoty aritmetického průměru všech naměřených hodnot deformací pro uzavírací síly 300 kN a 600 kN a pro oba typy vstřikovacích strojů.

Graf č. 4.9: Hodnoty naměřených deformací vypočítány v aritmetickém průměru pro uzavírací sílu 300 kN.





Graf č. 4.10: Hodnoty naměřených deformací vypočítány v aritmetickém průměru pro uzavírací sílu 600 kN.



Ze zjištěných statistických charakteristik vyplývá, že výběrová směrodatná odchylka pro všechna měření je v řádu jednotek tisícín, což je na úrovni přesnosti měření měřících optických sond ($\pm 5 \mu\text{m}$) a tomu odpovídají i malé velikosti relativních směrodatných odchylek pro uzavírací sílu 300 kN.

Naměřené hodnoty deformací jsou pro uzavírací sílu 600 kN natolik blízko nule, že relativní směrodatná odchylka vychází až v řádech stovek procent, to ovšem správnosti měření nevadí, neboť hodnoty výběrové směrodatné odchylky jsou opět v řádu jednotek tisícín.

Pro uzavírací sílu 900 kN se všechny naměřené hodnoty liší od nuly natolik málo, že měření je pod rozlišovací schopností měřícího zařízení a statistické vyhodnocení je zbytečné.



Z vypočítaných statistických charakteristik vyplývá, že měření, které bylo v experimentu provedeno měřicími optickými dotykovými sondami, je pro experiment dostatečné jak z hlediska přesnosti měřících zařízení, tak z hlediska skutečně naměřených hodnot. Proto výsledky experimentu mohou být dále vyhodnocovány.

4.3 Zhodnocení naměřených hodnot

a) ENGEL VICTORY 330/120 FOCUS

Pro velikost uzavírací síly 300 kN je pro nastavení vstřikovacích parametrů pro vstřikovaný materiál polyamid 6 patrné rozevření desek v dělicí rovině vstřikovací formy v její horní části (osa X, Y), což je dáno uzavíracím bezsloupovým mechanismem vstřikovacího stroje. Pro materiál polykarbonát jsou hodnoty deformace větší, což je dáno vyšší hodnotou vstřikovacího tlaku a dotlaku. Tato uzavírací síla je ovšem pro běžný vstřikovací cyklus nedostatečná a hodnoty pouze ukazují částečnou deformaci pružného C elementu.

Při uzavírací síle 600 kN jsou vzniklé deformace v dělicí rovině vstřikovací formy minimální a při této uzavírací síle je možné výrobek vstřikovat. Sekundární hledisko, čímž je kvalita výstřiku, je splněna, díl odpovídá rozměrovému protokolu.

Velikost uzavírací síly 900 kN je zcela dostatečná a v dělicí rovině deformace nevznikají. Při nastavení dostatečně velké uzavírací síly je vyloučeno, že uzavírací bezsloupový mechanismus způsobuje rozměrové nepřesnosti, resp. že dochází k rozevření vstřikovací formy během vstřikovacího cyklu.



b) ARBURG 420 C 1300-350

Při velikosti uzavírací síly 300 kN dochází pro nastavení vstřikovacích parametrů pro vstřikovaný materiál polyamid 6 i polykarbonát k rozevření vstřikovací formy v dělicí rovině přibližně rovnoměrně, v horní části vstřikovací formy jsou deformace větší o 0,03 mm. Vzniklé deformace jsou větší v porovnání s bezsloupovým vstřikovacím strojem.

Při uzavírací síle 600 kN deformace v dělicí rovině stále vznikají, jejich hodnota je nižší v porovnání s uzavírací silou 300 kN, lze ovšem konstatovat, že uzavírací sílu je nutné pro daný typ výrobku a vstřikovací parametry zvýšit.

Velikost uzavírací síly 900 kN je dostatečná a deformace v dělicí rovině nevznikají. Uzavírací sloupový mechanismus nezpůsobuje rozměrové nepřesnosti a nedochází k rozevření vstřikovací formy během vstřikovacího cyklu.

Výsledek experimentu:

Při nastavení dostatečně velké uzavírací síly nevznikají deformace v dělicí rovině vstřikovací formy a během vstřikovacího cyklu je zaručena paralelita upínacích desek u obou typů vstřikovacích strojů. Vliv nedodržení paralelity (vznik velkých deformací) na rozměry výrobků je možné vyloučit. Uzavírací síla se může na obou typech vstřikovacích strojů nastavovat na dvou třetinách jejího maxima a tím se prodlužuje životnost vstřikovací formy.



5. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo zjistit, zda možné problémy s rozměrovou přesností vstřikovaných výrobků nemohou být způsobeny rozevíráním desek vstřikovací formy během vstřikovacího cyklu, resp. zda je dodržena paralelita upínacích desek vstřikovacího stroje. Měření bylo provedeno optickými dotykovými měřicími sondami s vysokou přesností měření. Pro tyto sondy bylo třeba upravit a dovybavit vybranou vstřikovací formu. Měření probíhalo na dvou rozdílných mechanismech uzavíracích jednotek hydraulických vstřikovacích strojů a to na bezsloupovém a sloupovém typu a na dvou rozdílných plastových materiálech s rozdílnými vstřikovacími parametry. Celkem tedy bylo provedeno dvanáct druhů měření. Pro bezsloupový a sloupový vstřikovací stroj byla provedena tři měření lišící se ve velikosti uzavírací síly a tato měření byla provedena pro každý zvolený plastový materiál (polyamid 6 a polykarbonát).

U bezsloupové technologie je patrný rozdíl ve velikosti vzniklé deformace v horní a dolní části vstřikovací formy. Bezsloupová technologie je založena na zajištění paralelity upínacích desek vstřikovacího stroje pružným C rámem, a proto je deformace v horní části vstřikovací formy výrazně větší při nižších velikostech uzavírací síly. Pro rozměry vstřikovací formy (poměr výšky a šířky), které určuje výrobce bezsloupových vstřikovacích strojů, a vhodné velikosti uzavíracích sil, funguje bezsloupový uzavírací mechanismus správně a je možné vyloučit, že vzniklé rozměrové vady výrobků vznikají právě nedostatečnou paralelitou upínacích desek vstřikovacího stroje.

Na sloupovém uzavíracím mechanismu vznikají deformace v dělicí rovině vstřikovací formy více rovnoměrně a rozdíly mezi horní a spodní částí vstřikovací formy nejsou tak velké. Pro zvolené hodnoty uzavíracích sil jsou pak maximální hodnoty deformací menší u bezsloupového mechanismu. Vliv rozdílného nastavení vstřikovacích parametrů pro zvolené typy plastových materiálů na velikost vzniklé deformace je patrný u obou typů vstřikovacích strojů.

Experiment vylučuje vznik možné neparalelity upínacích desek během vstřikovacího cyklu a při nastavení dostatečné uzavírací síly zjišťuje, že nevznikají deformace v dělicí rovině vstřikovací formy. Optimální velikost uzavírací síly je na dvou třetinách jejího maxima, a proto není nutné nastavovat vyšší hodnoty uzavíracích sil, což vede k rychlejšímu opotřebením vstřikovací formy.



Seznam použité literatury:

- [1] LENFELD, P.: Technologie II.(Zpracování plastů), Skripta, TUL, 2006
- [2] KREBS, J.: Teorie zpracování nekovových materiálů, Skripta, VŠST Liberec, 1991
- [3] NEUHAUSL, E.: Plast form service, Skripta pro obsluhu vstřikovacích strojů, 1997
- [4] ZEMAN, L.: Vstřikování plastů, BEN – technická literatura, Praha 2009
- [5] NOVÁK, J.: JUREČKOVÁ J.: Základy vstřikování termoplastů, Studijní text kurzu seřizovačů, 2001
- [6] ŠAFAŘÍK, M.: Nástroje pro tváření kovů a plastů I. Skripta FT, VŠST Liberec, 1987
- [7] ŠAFAŘÍK, M.: Nástroje pro tváření kovů a plastů cvičení. Skripta FT, VŠST Liberec, 1991
- [8] <www.arburg.com>, [cit. 2012-04-13].
- [9] <http://www.engelglobal.com/engel_web/ecz/cz/3594.htm>,[cit. 2012-04-20].
- [10] KOHOUTEK, J.: Konstrukční provedení vstřikovacích lisů.
MM Průmyslové spektrum [online]. 2009, č. 1 [cit. 2012-03-18]. Dostupný z WWW:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/konstrucni-provedeni-vstrikovacich-lisu.html>.
ISSN 1212-2572.
- [11] FAJGL, J: Navrhování výrobků z plastických hmot, SNTL, 1964
- [12] ZEMAN, L: Cesty ke zvyšování účinnosti výměny tepla mezi formou, výstřikem a temperačním systémem formy. Podklad školení firem Plasty Gavriel s.r.o. a INNOMIA a.s., 2012
- [13] <http://www.aveng.cz/galerie/awards-2005/vzdelavani.aspx>, [cit. 2012-03-27].
- [14] KANDUS, B.: Přednášky z Technologie zpracování plastů. FSI VUT v Brně. 2007
- [15] DVOŘÁK, P.: Základy statistického vyhodnocování výsledků [cit. 2012-04-10].
Dostupný z WWW: <cit.vfu.cz/biochemie/CvFaFstatistika.doc>
- [16] Měřicí dotyková sonda TMPO30, návod k obsluze
- [17] PC interface, typ: PC-01-XX, návod k obsluze
- [18] Počítačový program TigreSP
- [19] SPURNÝ, B.: Přípravky, Průmyslové nakladatelství, 1951
- [20] LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: Strojnické tabulky, ALBRA, 2005
- [21] ENGEL, Manuál k vstřikovací stroji ENGEL VICTORY 330/120 FOCUS



- [22] ČERNOCH, S.: Strojně technická příručka 1, SNTL, 1968
- [23] ČERNOCH, S.: Strojně technická příručka 2, SNTL, 1968
- [24] <www.bada.de>, [cit. 2012-04-16], materiálový list
- [25] <http://www.dsm.com/en_US/html/dep/home_dep.htm>, [cit. 2012-04-25], materiálový list



Seznam příloh:

Příloha č.1: Výrobní výkres přídržovacích desek

Příloha č.2: Výrobní výkres referenčních protikusů

Příloha č.3: Výrobní výkres závitových tyčí

Příloha č.4: Naměřené hodnoty deformací na stroji ENGEL pro materiál Polyamid 6

Příloha č.5: Naměřené hodnoty deformací na stroji ENGEL pro materiál Polykarbonát

Příloha č.6: Naměřené hodnoty deformací na stroji ARBURG pro materiál Polyamid 6

Příloha č.7: Naměřené hodnoty deformací na stroji ARBURG pro materiál Polykarbonát

Příloha č.8: Vybrané stat. charakteristiky pro uzavírací sílu 300 kN, ENGEL, Polyamid 6

Příloha č.9: Vybrané stat. charakteristiky pro uzavírací sílu 600 kN, ENGEL, Polyamid 6

Příloha č.10: Vybrané stat. charakteristiky pro uzavírací sílu 300 kN, ENGEL, Polykarbonát

Příloha č.11: Vybrané stat. charakteristiky pro uzavírací sílu 600 kN, ENGEL, Polykarbonát

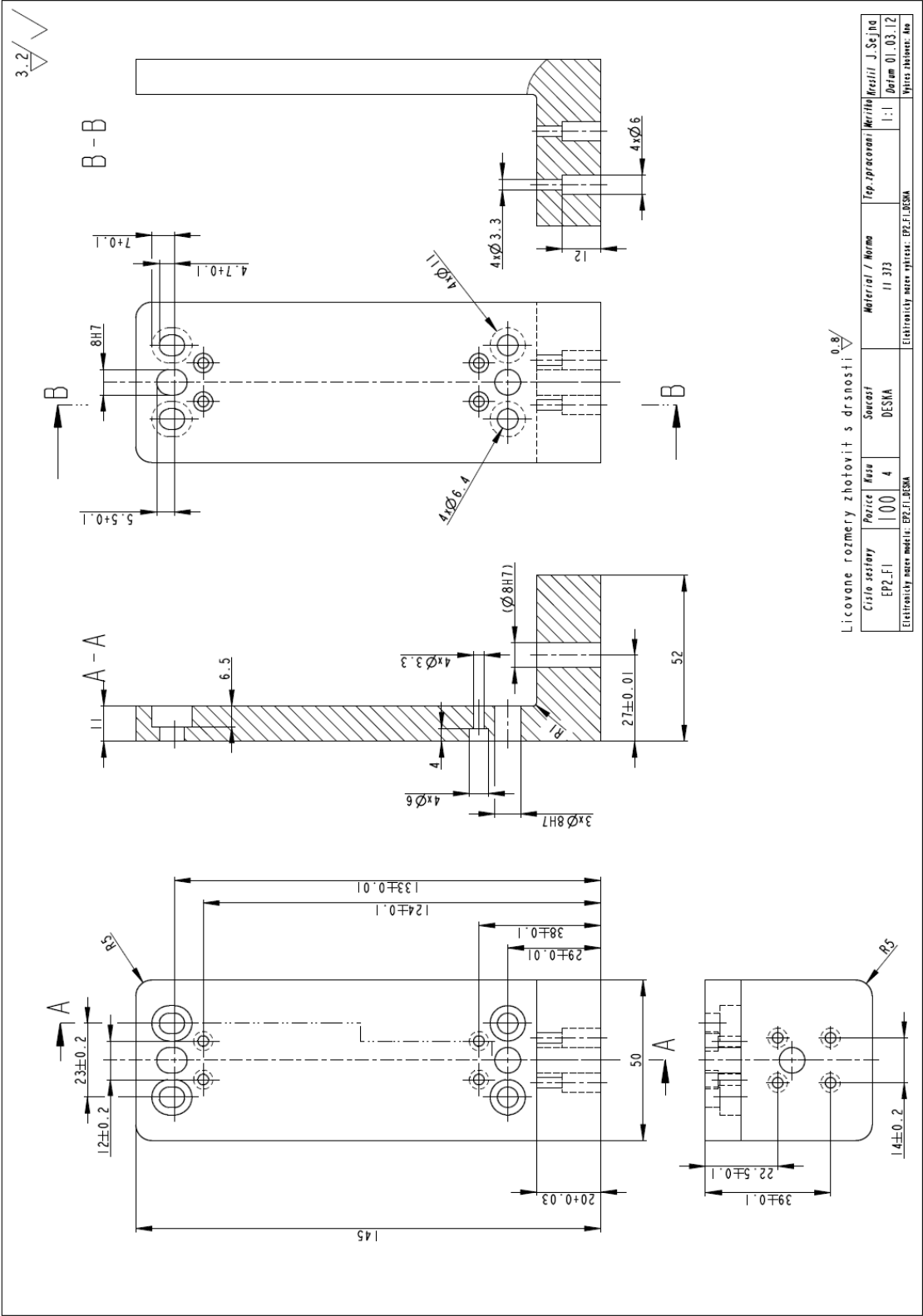
Příloha č.12: Vybrané stat. charakteristiky pro uzavírací sílu 300 kN, ARBURG, Polyamid 6

Příloha č.13: Vybrané stat. charakteristiky pro uzavírací sílu 600 kN, ARBURG, Polyamid 6

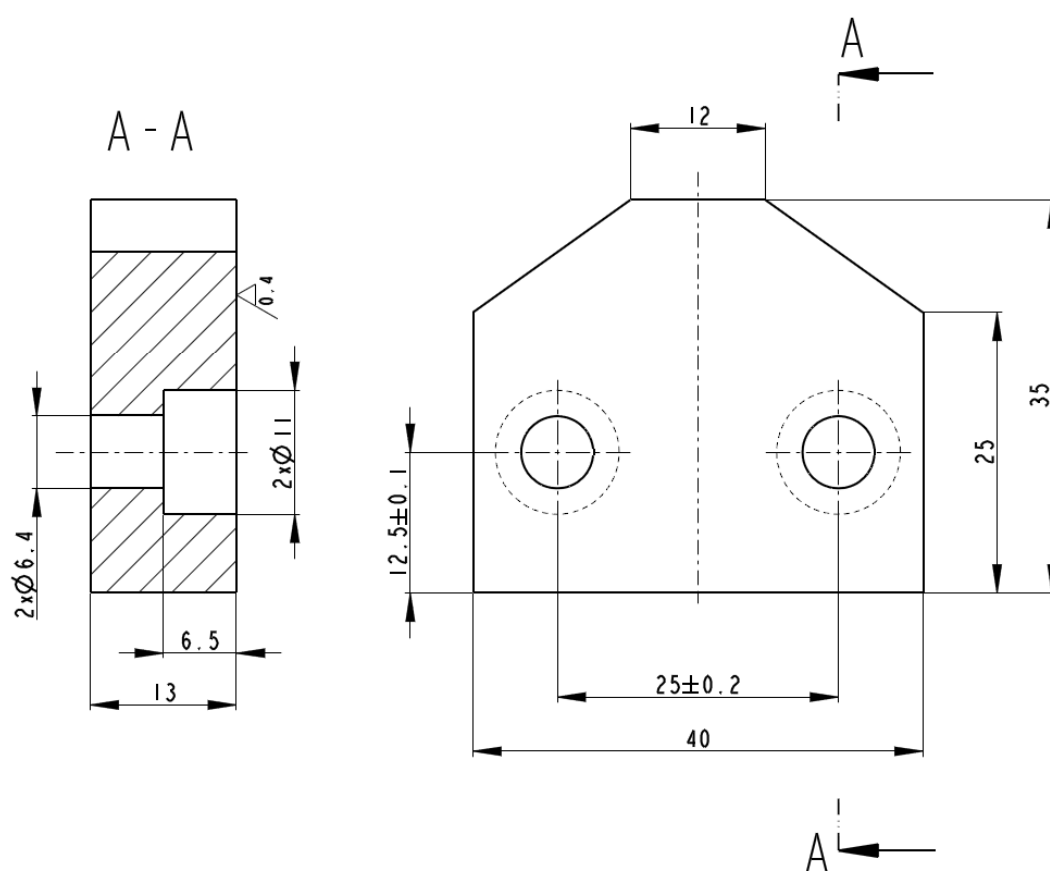
Příloha č.14: Vybrané stat. charakteristiky pro uzavírací sílu 300 kN, ARBURG, Polykarbonát

Příloha č.15: Vybrané stat. charakteristiky pro uzavírací sílu 600 kN, ARBURG, Polykarbonát

Příloha č.1: Výrobní výkres přídržovacích desek

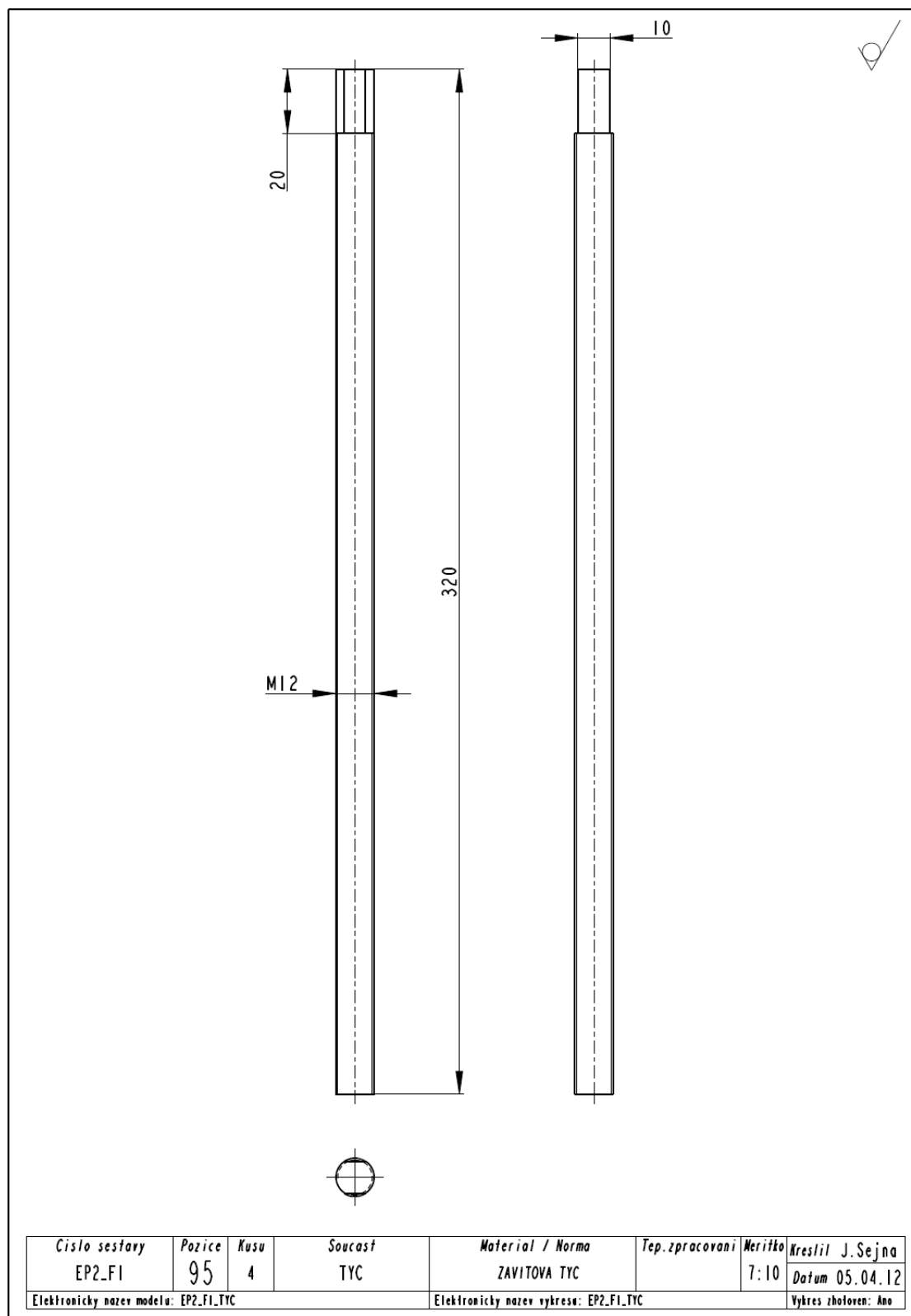


3.2 ✓



Císlo sestavy	Pozice	Kusu	Součást	Material / Norma	Pop.zpracování	Měřitko	Kreslil J.Sejna
EP2_F1	101	4	PROTIKUS	11 373		2:1	Datum 01.03.12
Elektronický název modelu: EP2.F1.PROTIKUS				Elektronický název výřezu: EP2.F1.PROTIKUS			Výtisk zhotoven: Ano

Příloha č.3: Výrobní výkres závitových tyčí



Příloha č.4: Naměřené hodnoty deformací na stroji ENGEL pro materiál Polyamid 6

Materiál: Polyamid 6 Vstříkovací stroj		Uzavírací síla [kN] PA 6											
		300				600				900			
		Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W	Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W	Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W
ENGEL VICTORY 330/120F	Zdvih												
	1	0,05	0,04	0,01	0,005	0	0,005	0	0	0	0	0	0
	2	0,045	0,035	0,015	0,01	0,005	0	0	0	0	0	0	0
	3	0,05	0,04	0,005	0,01	0	0,005	0	0,005	0	0	0	0
	4	0,05	0,04	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0,05	0,045	0,01	0,01	0	0,005	0	0	0	0	0	0
	6	0,05	0,05	0,01	0,015	0,005	0,005	0	0	0	0	0	0
	7	0,045	0,04	0,015	0,01	0,005	0,005	0	0	0	0	0	0
	8	0,05	0,04	0,005	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0,055	0,045	0,01	0,015	0,005	0,005	0,005	0	0	0	0	0
	10	0,05	0,04	0,01	0,01	0	0,005	0	0	0	0	0	0
	11	0,05	0,045	0,005	0,015	0,005	0,005	0	0	0	0	0	0
	12	0,045	0,045	0,015	0,005	0,005	0,005	0	0	0	0	0	0
	13	0,055	0,05	0,01	0,01	0,005	0,005	0	0	0	0	0	0
	14	0,045	0,04	0,01	0,01	0	0,005	0	0	0	0	0	0
	15	0,045	0,045	0,005	0,015	0,005	0	0	0	0	0	0	0
	16	0,05	0,04	0,01	0,01	0	0,005	0	0	0	0	0	0
	17	0,045	0,035	0,01	0,01	0,005	0	0	0	0	0	0	0
	18	0,05	0,045	0,005	0,005	0	0,005	0	0	0	0	0	0
	19	0,05	0,04	0,015	0,015	0	0,005	0	0	0	0	0	0
	20	0,05	0,04	0,01	0,01	0,005	0	0	0,005	0	0	0	0
	21	0,055	0,05	0,015	0,01	0,005	0,005	0	0	0	0	0	0
	22	0,055	0,045	0,005	0,005	0	0	0	0	0	0	0	0
	23	0,045	0,04	0,01	0,01	0,005	0	0	0	0	0	0	0
	24	0,05	0,04	0,01	0,015	0	0,005	0	0	0	0	0	0
	25	0,05	0,035	0,01	0,01	0	0,005	0	0	0	0	0	0
	26	0,045	0,04	0,01	0,01	0,005	0	0	0	0	0	0	0
	27	0,045	0,04	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0	0	0	0	0
	28	0,05	0,045	0,015	0,015	0,005	0	0	0	0	0	0	0
	29	0,05	0,04	0,01	0,01	0,005	0,005	0	0	0	0	0	0
	30	0,05	0,04	0,01	0,015	0	0,005	0	0,005	0	0	0	0

Příloha č.5: Naměřené hodnoty deformací na stroji ENGEL pro materiál Polykarbonát

Materiál: Polykarbonát		Uzavírací síla [kN] PC											
		300				600				900			
		Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W	Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W	Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W
Vstříkovací stroj	Zdvih												
ENGEL VICTORY 330/120F	1	0,08	0,08	0,02	0,015	0	0,005	0	0	0	0	0	0
	2	0,085	0,085	0,015	0,015	0,005	0	0	0	0	0	0	0
	3	0,09	0,095	0,02	0,025	0	0,005	0	0	0	0	0	0
	4	0,095	0,095	0,015	0,02	0,005	0,005	0	0	0	0	0	0
	5	0,09	0,095	0,025	0,02	0,005	0,005	0	0	0	0	0	0
	6	0,08	0,09	0,02	0,025	0	0,005	0,005	0	0	0	0	0
	7	0,085	0,095	0,025	0,025	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0,09	0,095	0,02	0,02	0,005	0	0	0	0	0	0	0
	9	0,085	0,095	0,02	0,02	0	0,005	0	0	0	0	0	0
	10	0,095	0,09	0,015	0,025	0,005	0	0	0	0	0	0	0
	11	0,08	0,09	0,025	0,015	0	0,005	0	0	0	0	0	0
	12	0,095	0,095	0,02	0,02	0,005	0	0	0	0	0	0	0
	13	0,09	0,09	0,025	0,02	0,005	0,005	0	0	0	0	0	0
	14	0,09	0,09	0,025	0,025	0	0	0,005	0	0	0	0	0
	15	0,085	0,095	0,02	0,025	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	0,09	0,095	0,02	0,02	0	0,005	0	0	0	0	0	0
	17	0,095	0,095	0,02	0,025	0,005	0,005	0	0	0	0	0	0
	18	0,08	0,085	0,015	0,02	0,005	0,005	0	0	0	0	0	0
	19	0,095	0,095	0,02	0,02	0	0,005	0	0	0	0	0	0
	20	0,09	0,09	0,025	0,025	0,005	0,005	0	0	0	0	0	0
	21	0,09	0,09	0,02	0,025	0	0	0	0,005	0	0	0	0
	22	0,085	0,09	0,015	0,02	0,005	0,005	0	0	0	0	0	0
	23	0,085	0,095	0,015	0,015	0	0,005	0	0	0	0	0	0
	24	0,09	0,09	0,02	0,025	0	0	0	0	0	0	0	0
	25	0,085	0,095	0,02	0,02	0,005	0,005	0	0	0	0	0	0
	26	0,08	0,085	0,02	0,015	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0,08	0,09	0,025	0,025	0	0	0	0	0	0	0	0
	28	0,09	0,095	0,02	0,02	0,005	0,005	0,005	0	0	0	0	0
	29	0,09	0,095	0,015	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0
	30	0,085	0,095	0,025	0,02	0,005	0	0	0	0	0	0	0

Příloha č.6: Naměřené hodnoty deformací na stroji ARBURG pro materiál Polyamid 6

Materiál: Polyamid 6		Uzavírací síla [kN] PA 6											
		300				600				900			
		Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W	Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W	Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W
Vstřikovací stroj	Zdvih												
	1	0,1	0,115	0,075	0,08	0,02	0,015	0	0	0	0	0	0
	2	0,09	0,1	0,08	0,075	0,015	0,015	0	0	0	0	0	0
	3	0,11	0,115	0,085	0,085	0,015	0,025	0	0	0	0	0	0
	4	0,115	0,115	0,085	0,09	0,02	0,02	0	0,005	0	0	0	0
	5	0,1	0,11	0,085	0,085	0,015	0,02	0	0	0	0	0	0
	6	0,105	0,115	0,08	0,085	0,015	0,02	0	0	0	0	0	0
	7	0,1	0,105	0,09	0,08	0,02	0,025	0	0	0	0	0	0
	8	0,11	0,11	0,08	0,075	0,01	0,015	0	0,005	0	0	0	0
	9	0,095	0,105	0,085	0,08	0,015	0,02	0	0	0	0	0	0
	10	0,105	0,115	0,095	0,09	0,015	0,02	0,005	0	0	0	0	0
	11	0,115	0,115	0,075	0,085	0,025	0,015	0	0	0	0	0	0
	12	0,11	0,115	0,09	0,095	0,02	0,015	0	0,005	0	0	0	0
	13	0,11	0,11	0,08	0,09	0,02	0,015	0	0	0	0	0	0
	14	0,105	0,115	0,08	0,085	0,015	0,02	0	0	0	0	0	0
	15	0,11	0,11	0,08	0,085	0,015	0,015	0	0	0	0	0	0
	16	0,115	0,115	0,085	0,09	0,015	0,025	0	0,005	0	0	0	0
	17	0,1	0,105	0,085	0,08	0,02	0,025	0	0	0	0	0	0
	18	0,105	0,105	0,075	0,08	0,02	0,015	0	0	0	0	0	0
	19	0,095	0,105	0,085	0,08	0,015	0,02	0	0	0	0	0	0
	20	0,095	0,11	0,08	0,085	0,015	0,015	0,005	0,005	0	0	0	0
	21	0,105	0,115	0,085	0,09	0,02	0,015	0	0	0	0	0	0
	22	0,1	0,11	0,08	0,085	0,015	0,015	0	0	0	0	0	0
	23	0,1	0,11	0,075	0,08	0,02	0,015	0	0	0	0	0	0
	24	0,095	0,11	0,08	0,075	0,015	0,02	0	0,005	0	0	0	0
	25	0,105	0,115	0,08	0,085	0,015	0,015	0	0	0	0	0	0
	26	0,11	0,115	0,085	0,09	0,015	0,02	0	0	0	0	0	0
	27	0,1	0,11	0,085	0,09	0,02	0,02	0	0	0	0	0	0
	28	0,105	0,105	0,08	0,085	0,015	0,015	0	0,005	0	0	0	0
	29	0,095	0,1	0,085	0,08	0,02	0,02	0,005	0	0	0	0	0
	30	0,09	0,1	0,08	0,08	0,01	0,015	0	0,005	0	0	0	0

ARBURG 420C,1300-350

Příloha č.7: Naměřené hodnoty deformací na stroji ARBURG pro materiál Polykarbonát

Materiál: Polykarbonát		Uzavírací síla [kN]											
		300						600					
		Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W	Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W	Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W
Vstřikovací stroj		Zdvih											
ARBURG 420C,1300-350		1	0,055	0,065	0,015	0,015	0	0,005	0	0	0	0	0
		2	0,055	0,065	0,015	0,01	0,005	0	0	0	0	0	0
		3	0,055	0,06	0,015	0,015	0	0,005	0	0	0	0	0
		4	0,045	0,05	0,015	0,01	0	0,005	0	0	0	0	0
		5	0,05	0,06	0,01	0,015	0,005	0	0,005	0	0	0	0
		6	0,04	0,045	0,015	0,01	0,005	0,005	0	0	0	0	0
		7	0,055	0,06	0,01	0,015	0,005	0	0	0	0	0	0
		8	0,05	0,06	0,015	0,02	0	0	0	0	0	0	0
		9	0,05	0,06	0,02	0,015	0,005	0,005	0	0	0	0	0
		10	0,045	0,055	0,01	0,015	0	0,005	0	0	0	0	0
		11	0,05	0,065	0,015	0,02	0	0,005	0,005	0	0	0	0
		12	0,055	0,065	0,015	0,02	0	0	0	0	0	0	0
		13	0,06	0,06	0,015	0,015	0,005	0,005	0	0	0	0	0
		14	0,055	0,06	0,015	0,015	0,005	0,01	0	0	0	0	0
		15	0,05	0,065	0,01	0,015	0	0,005	0	0	0	0	0
		16	0,055	0,05	0,01	0,01	0,005	0	0	0	0	0	0
		17	0,05	0,045	0,01	0,015	0	0,005	0	0	0	0	0
		18	0,055	0,05	0,015	0,015	0,005	0	0,005	0	0	0	0
		19	0,045	0,05	0,015	0,015	0,005	0,005	0	0	0	0	0
		20	0,05	0,05	0,015	0,015	0,005	0,005	0	0	0	0	0
		21	0,04	0,05	0,015	0,01	0	0	0	0	0	0	0
		22	0,045	0,055	0,01	0,015	0,005	0,005	0	0	0	0	0
		23	0,05	0,06	0,015	0,02	0,005	0,005	0	0	0	0	0
		24	0,045	0,055	0,02	0,015	0	0	0,005	0	0	0	0
		25	0,055	0,065	0,015	0,015	0	0,005	0	0	0	0	0
		26	0,05	0,06	0,015	0,015	0,005	0,005	0	0	0	0	0
		27	0,045	0,055	0,01	0,01	0	0,005	0	0	0	0	0
		28	0,05	0,055	0,015	0,01	0,005	0	0	0	0	0	0
		29	0,055	0,06	0,02	0,015	0	0,005	0,005	0	0	0	0
		30	0,05	0,06	0,015	0,015	0,005	0	0	0	0	0	0

Příloha č.8: Vybrané stat. charakteristiky pro uzavírací sílu 300 kN, ENGEL, Polyamid 6

ENGEL VICTORY 330/120 FOCUS Materiál: Polyamid 6	Uzavírací síla [kN]			
	300			
	Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W
Aritmetický průměr \bar{x} [mm]	0,0492	0,0418	0,0098	0,0105
Variační rozpětí R [mm]	0,0100	0,0150	0,0100	0,0100
Výběrová směrodatná odchylka s [mm]	0,0032	0,0040	0,0033	0,0033
Relativní směrodatná odchylka s_r [%]	6,5870	9,6659	34,0004	31,5126

Příloha č.9: Vybrané stat. charakteristiky pro uzavírací sílu 600 kN, ENGEL, Polyamid 6

ENGEL VICTORY 330/120 FOCUS Materiál Polyamid 6	Uzavírací síla [kN]			
	600			
	Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W
Aritmetický průměr \bar{x} [mm]	0,0027	0,0033	0,0003	0,0005
Variační rozpětí R [mm]	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050
Výběrová směrodatná odchylka s [mm]	0,0025	0,0024	0,0013	0,0015
Relativní směrodatná odchylka s_r [%]	95,1405	71,9195	380,5622	305,1286

Příloha č.10: Vybrané stat. charakteristiky pro uzavírací sílu 300 kN, ENGEL, Polykarbonát

ENGEL VICTORY 330/120 FOCUS Materiál: Polykarbonát	Uzavírací síla [kN]			
	300			
	Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W
Aritmetický průměr \bar{x} [mm]	0,0875	0,0918	0,0202	0,0210
Variační rozpětí R [mm]	0,0150	0,0150	0,0100	0,0100
Výběrová směrodatná odchylka s [mm]	0,0050	0,0040	0,0036	0,0036
Relativní směrodatná odchylka s_r [%]	5,7633	4,4032	17,8115	17,0091

Příloha č.11: Vybrané stat. charakteristiky pro uzavírací sílu 600 kN, ENGEL, Polykarbonát

ENGEL VICTORY 330/120 FOCUS Materiál: Polykarbonát	Uzavírací síla [kN]			
	600			
	Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W
Aritmetický průměr \bar{x} [mm]	0,0023	0,0028	0,0005	0,0002
Variační rozpětí R [mm]	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050
Výběrová směrodatná odchylka s [mm]	0,0025	0,0025	0,0015	0,0009
Relativní směrodatná odchylka s_r [%]	108,7321	88,9424	305,1286	547,7226

Příloha č.12: Vybrané stat. charakteristiky pro uzavírací sílu 300 kN, ARBURG, Polyamid 6

ARBURG 420 C 1300-350 Materiál: Polyamid 6	Uzavírací síla [kN]			
	300			
	Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W
Aritmetický průměr \bar{x} [mm]	0,1032	0,1100	0,0823	0,0840
Variační rozpětí R [mm]	0,0250	0,0150	0,0200	0,0200
Výběrová směrodatná odchylka s [mm]	0,0071	0,0051	0,0047	0,0052
Relativní směrodatná odchylka s_r [%]	6,9109	4,6232	5,6909	6,1343

Příloha č.13: Vybrané stat. charakteristiky pro uzavírací sílu 600 kN, ARBURG, Polyamid 6

ARBURG 420 C 1300-350 Materiál: Polyamid 6	Uzavírací síla [kN]			
	600			
	Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W
Aritmetický průměr \bar{x} [mm]	0,0168	0,0182	0,0005	0,0013
Variační rozpětí R [mm]	0,0150	0,0100	0,0050	0,0050
Výběrová směrodatná odchylka s [mm]	0,0033	0,0036	0,0015	0,0022
Relativní směrodatná odchylka s_r [%]	19,8616	19,7724	305,1286	168,6662

Příloha č.14: Vybrané stat. charakteristiky pro uzavírací sílu 300 kN, ARBURG,

Polykarbonát

ARBURG 420 C 1300-350 Materiál: Polykarbonát	Uzavírací síla [kN]			
	300			
	Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W
Aritmetický průměr \bar{x} [mm]	0,0503	0,0572	0,0142	0,0145
Variační rozpětí R [mm]	0,0150	0,0200	0,0100	0,0100
Výběrová směrodatná odchylka s [mm]	0,0049	0,0061	0,0030	0,0030
Relativní směrodatná odchylka s_r [%]	9,7377	10,6956	20,8974	20,9457

Příloha č.15: Vybrané stat. charakteristiky pro uzavírací sílu 600 kN, ARBURG,

Polykarbonát

ARBURG 420 C 1300-350 Materiál: Polykarbonát	Uzavírací síla [kN]			
	600			
	Osa X	Osa Y	Osa Z	Osa W
Aritmetický průměr \bar{x} [mm]	0,0027	0,0033	0,0005	0,0003
Variační rozpětí R [mm]	0,0050	0,005	0,0050	0,0050
Výběrová směrodatná odchylka s [mm]	0,0025	0,0027	0,0015	0,0013
Relativní směrodatná odchylka s_r [%]	95,1405	82,0008	305,1286	380,5622

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména §60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 25.5.2012

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 25.5.2012

Signature: